

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko – geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství**

Ověření oficiálních emisních faktorů CO₂ pro různé druhy paliv

bakalářská práce

Autor:

Jana Pechová

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.

OSTRAVA 2014

**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY
OF OSTRAVA**

**Faculty of mining and geology
Institute of environmental engineering**

Verification of CO₂ emission factors for different kinds of fuels

The Bachelor Thesis

Author:
Supervisor:

Jana Pechová
doc. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.

OSTRAVA 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Jana Pechová**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904R005 Environmentální inženýrství
Téma: **Ověření oficiálních emisních faktorů CO₂ pro různé druhy paliv**
Verification of CO₂ emission factors for different kinds of fuels

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Vliv emisí CO₂ ze spalovacích procesů na životní prostředí
3. Emisní faktory CO₂ pro různé druhy paliv - metody zjišťování emisních faktorů a výpočet, hodnoty stanovené MŽP
4. Výpočet provozních hodnot emisních faktorů CO₂ pro vybraná paliva
5. Diskuze
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Klaus, V., 2009. Modrá planeta v ohrožení, Sborník nových textů o globálním oteplování, Dokořán, pp. 228.
2. Volk, T., 2008. CO₂ Rising: The World's Greatest Environmental Challenge, The MIT Press, pp. 240.
3. Zákon 695/2004 Sb. o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů
4. Vyhláška 696/2004 Sb. kterou se stanoví postup zjišťování, vykazování a ověřování množství emisí skleníkových plynů
5. Herold, A., 2003. Comparison of CO₂ emission factors for fuels used in Greenhouse Gas Inventories and consequences for monitoring and reporting under the EC emissions trading scheme, ETC/ACC, pp. 23.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014

prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu



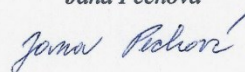
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

PROHLÁŠENÍ

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution - NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30.4.2014

Jana Pechová





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato práce byla vypracována v rámci projektu Nanotechnologie – báze pro mezinárodní spolupráci, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/20.0074 podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost, financovaného ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR.

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Daniele Plaché, Ph.D. za odborné rady a vedení při vypracování této práce.

Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Jiřímu Krčmářovi a Ing. Petru Hajšovi k poskytnutí potřebných informací, které my pomohly při sestavení mé práce.

ABSTRAKT

V této bakalářské práci se zabývám ověřením emisních faktorů CO₂ a způsobem jejich výpočtu u tuhých a plynných paliv. V první části práce se zabývám vlivem oxidu uhličitého na životní prostředí a odpovídající legislativou. Rovněž je zmíněna problematika příčin klimatických změn. Následně jsou popsány metody zjišťování emisních faktorů a způsob jejich výpočtu. Metody byly následně aplikovány na zjištění emisního faktoru CO₂ u vybraných uhlí, koksů a plynných paliv. V závěru práce jsou získaná data o emisích CO₂ porovnávána s hodnotami doporučenými IPCC.

Klíčová slova: oxid uhličitý, skleníkové plyny, emise, emisní faktor, palivo

ABSTRACT

In this bachelor thesis I deal about verified emissions factor CO₂ and ways how to calculate them for solid and gaseous fuels. In first part of work I deal with effect of carbon dioxide on the environment and appropriate legislation. There is also mention about climate change problems. Following describes of methods for surveys emissions factor and ways for their calculating. Methods were subsequently applied for finding emissions factor CO₂ at selected coal, coke and gaseous fuels. In the conclusion are obtained data about CO₂ emissions and they are comparing with IPCC recommended value.

Keywords: carbon dioxide, greenhouse gases, emissions, emission factor, fuel

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	VLIV EMISÍ CO ₂ ZE SPALOVACÍCH PROCESŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	2
2.1	Koncentrace CO ₂ v atmosféře	2
2.1.1	Skleníkový efekt	6
2.1.2	Názory na vliv CO ₂ na globální oteplování	8
2.1.3	Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC)	9
2.2	Legislativa	9
2.2.1	Předpisy EU	10
2.2.2	Předpisy ČR	10
2.2.3	Emisní obchodování	11
2.2.4	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO)	12
3	EMISNÍ FAKTORY CO ₂ PRO RŮZNÉ DRUHY PALIV – METODY ZJIŠŤOVÁNÍ EMISNÍCH FAKTORŮ A VÝPOČET, HODNOTY STANOVENÉ MŽP	13
3.1	Emisní faktor	13
3.2	Metodické pokyny	13
3.3	Výpočet emisního faktoru v uhlí a koksu	14
3.4	Výpočet emisního faktoru v plynném palivu	15
3.5	Výhřevnosti, emisní faktory CO ₂ (CO ₂ EF) a oxidační faktory použité v české národní inventuře skleníkových plynů	17
4	VÝPOČET PROVOZNÍCH HODNOT EMISNÍCH FAKTORŮ CO ₂ PRO VYBRANÁ PALIVA	18
4.1	Specifikace použitých paliv	18
4.2	Principy stanovení spalného tepla a uhlíku pevných paliv	20
4.3	Principy stanovení spalného tepla a uhlíku plynných paliv	22
4.4	Emisní faktory CO ₂ pro jednotlivé typy tuhých paliv	25
4.4.1	Výsledky analýz stanovené u koksovatelného uhlí	25
4.4.2	Výsledky analýz stanovené u energetického uhlí	29
4.4.3	Výsledky analýz stanovené u koksu	32
4.4.4	Porovnání uvedených typů tuhých paliv	35
4.5	Emisní faktory CO ₂ pro jednotlivé typy plynných paliv	38
4.6	Diskuze	40
5	ZÁVĚR	42

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	43
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	47
SEZNAM GRAFŮ	47

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AMO	ArcelorMittal Ostrava a.s.
BČOV	biologická čistírna odpadních vod
CEF	uhlíkový emisní faktor
CO ₂	oxid uhličitý
CO ₂ EF	emisní faktor oxidu uhličitého
C ^r	uhlík v původním stavu
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČIŽP	Česká inspekce životního prostředí
EF	emisní faktor
ES	Evropská společenství
EU ETS	<i>European Union Emission Trading Scheme</i> - Evropská směrnice o obchodování emisemi
EU	Evropská unie
IET	<i>International Emission Trading</i> - Mezinárodní emisní obchodování
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> – Mezivládní panel pro změnu klimatu
ISKO	Informační systém kvality ovzduší
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NAP	Národní alokační plán
NCV	<i>net calorific value</i> – výhřevnost
OSN	Organizace spojených národů
OTE	Operátor trhu s elektřinou
ppm	<i>parts per milion</i> - jedna miliontina celku
Q _i ^r	výhřevnost
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
t CO ₂ /TJ	tuny oxidu uhličitého na terajoule
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> - Program OSN pro životní prostředí
WMO	<i>World Meteorological Organization</i> - Světová meteorologická organizace
W _t ^r	veškerá voda

1 ÚVOD

V posledních letech narůstají ve světě obavy z globálního oteplování. Nárůst průměrné teploty zemské atmosféry a oceánů je čím dál více připisován lidským činnostem, zejména vypouštění velkého množství oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů do ovzduší.

Prvním nástrojem v České republice, který má sloužit ke snížení emisí skleníkových plynů, je systém obchodování s emisemi skleníkových plynů. Koncept tohoto obchodování vychází z Kjótského protokolu, který podepsalo více než 170 zemí, a tím se zavázaly snížit své emise skleníkových plynů. V Evropské unii je zavedena Evropská směrnice o obchodování s emisemi (EU ETS), podle které budou muset členské státy EU omezit emise CO₂ podle přidělených limitů.

Monitorování a vykazování emisí je základem systému Unie pro obchodování s emisemi. Provozovatel si zvolí metodiku monitorování z modulového systému založeného na různých přístupech k monitorování. K dispozici jsou metodiky založené na výpočtu, na měření nebo kombinace obou metod.

V bakalářské práci se budu zabývat metodou založenou na výpočtu. Principem této metody je výpočet emisí pomocí aktivních údajů (např. množství spotřebovaného paliva) vynásobených emisním faktorem. Výpočtové faktory mohou být stanoveny buď jako standardní hodnoty nebo jsou stanoveny na základě laboratorních analýz. Pro několik druhů uhlí používaného v celé republice se mohou dosadit jako průměrné hodnoty faktorů např. emisní faktory pro uhlí, které se používají v národních inventurách, zatímco laboratorní analýza platí pouze pro jednu vsázku jednoho druhu uhlí.

Cílem mé bakalářské práce je ověření emisních faktorů CO₂ pro různé druhy paliv, používaných jako standardní hodnoty v národních inventurách skleníkových plynů. Tyto emisní faktory budu porovnávat s emisními faktory stanovenými laboratorní analýzou u tuhých a plyných paliv, používaných v huti ArcelorMittal Ostrava.

Dále se budu zabývat laboratorními rozbory pro jednotlivé typy paliv, důležitými pro získání potřebných hodnot k výpočtům emisních faktorů, s čímž souvisí i studium způsobu výpočtu emisních faktorů pro tuhá a plyná paliva.

2 VLIV EMISÍ CO₂ ZE SPALOVACÍCH PROCESŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

2.1 Koncentrace CO₂ v atmosféře

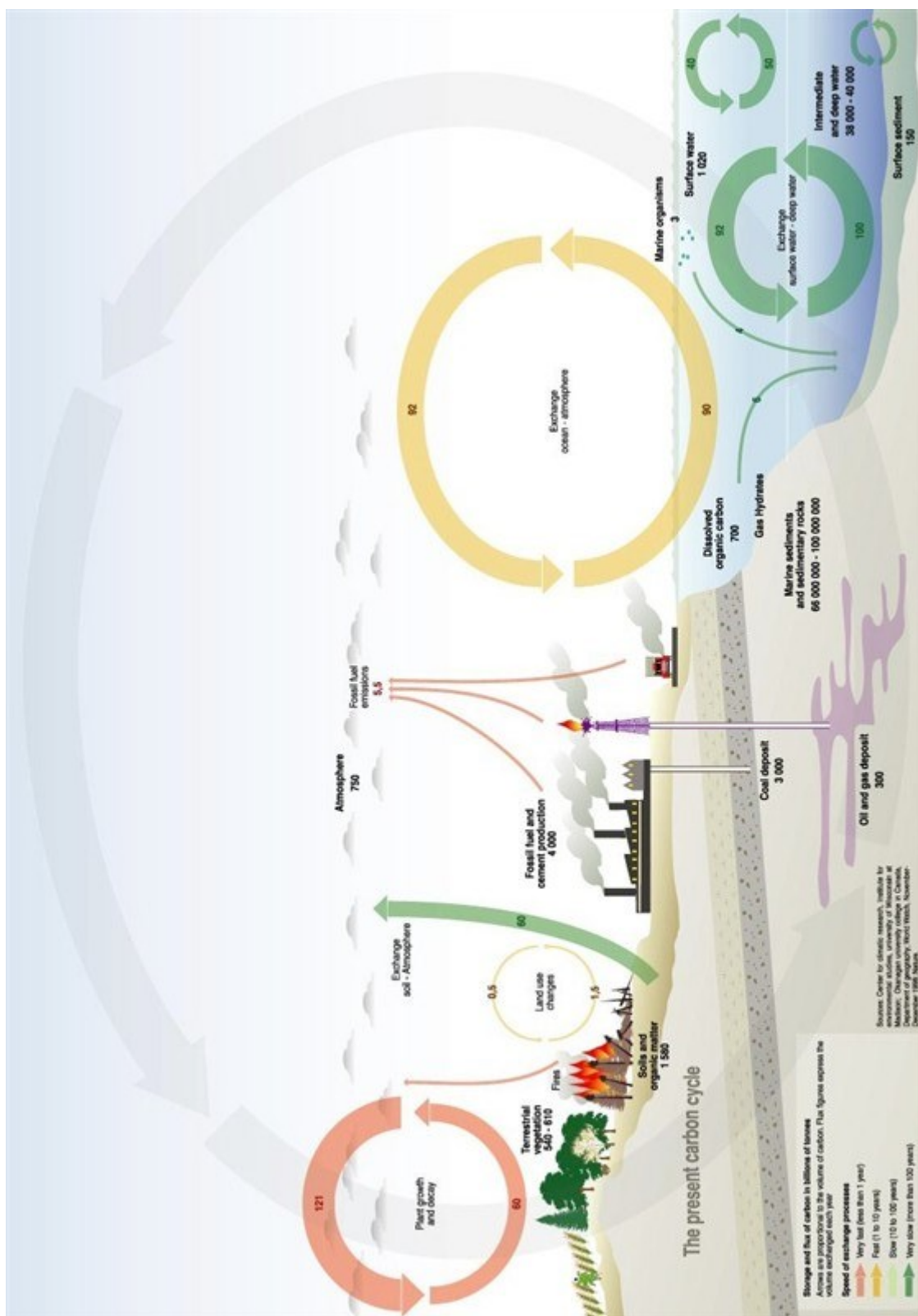
Uhlík patří spolu s vodíkem, heliem a kyslíkem ke čtyřem nejhojnějším prvkům ve sluneční soustavě. Biogeochemický cyklus uhlíku je jedním z nejvýznamnějších procesů v biosféře. Je druhým nejhojnějším prvkem v lidském těle a ovlivňuje celkový stav biosféry. V ovzduší se uhlík mimo jiné vyskytuje jako CO₂ (oxid uhličitý). Tento plyn je významným pro fotosyntézu a vzniká při dýchání [1].

Lidská činnost v poslední době výrazně ovlivňuje cyklus uhlíku (viz obrázek 1) v životním prostředí a to především spalováním fosilních paliv (uhlí, zemní plyn, ropné produkty), při jejichž hoření se přítomný uhlík oxiduje a uniká do ovzduší. V menší míře je CO₂ produkován i při výrobě cementu. Také ovlivňováním vegetace na zemi má vliv na rovnováhu uhlíku. Podle Moldana je *„porozumění biogeochemickému cyklu uhlíku klíčovou otázkou změny klimatu, vyvolanou v rozhodující míře zvýšením skleníkového efektu v důsledku emisí skleníkových plynů, především oxidu uhličitého“* [1].

CO₂ je eliminován vegetací a planktonem, kteří při fotosyntéze oxid uhličitý spotřebovávají na kyslík a vodík. Úbytek planktonu a odlesňování snižují absorpci zvýšeného množství oxidu uhličitého vytvořeného lidskou činností. Z toho důvodu je vegetace schopna zachytit pouze třetinu CO₂. Při kácení lesů se do atmosféry uvolňuje velké množství oxidu uhličitého, které je zadržováno stromy. Mnoho zemí světa produkuje více oxidu uhličitého odlesňováním svého území než průmyslovou činností [2].

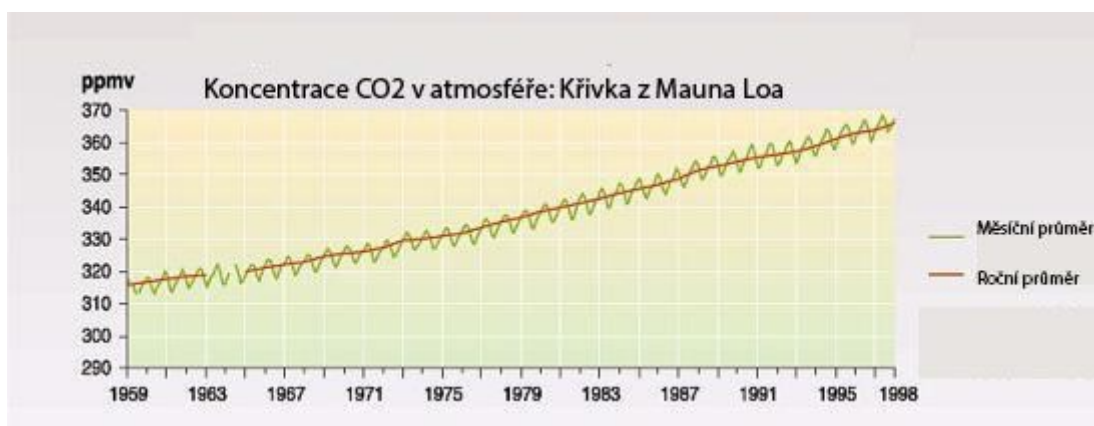
Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře stále stoupá. Uvádí se v jednotkách ppm (počet částic plynu z milionu vzduchových částic). Koncentrace CO₂ se v posledních dvou milionech let pohybovala mezi 180 a 280 ppm. Nejnížší koncentrace CO₂ byly v dobách ledových a nejvyšší v teplých obdobích. V poslední době meziledové se koncentrace CO₂ pohybovala kolem své horní hranice [1].

Cyklus uhlíku



Obrázek 1: Cyklus uhlíku [3]

V 19. století začala koncentrace výrazně narůstat a tento nárůst (viz obrázek 2) trvá dodnes (v roce 2009 byla průměrná globální koncentrace CO₂ 386 ppm, v posledních desetiletích stabilně narůstá průměrně o 2 ppm za rok). Tento nárůst začal v době průmyslové revoluce, a souvislost nárůstu koncentrace CO₂ a průmyslu se zdá být zřejmou, avšak ozývají se i hlasy, že tomu tak není. Zastánci těchto názorů vycházejí z předpokladu, že množství CO₂ roste v důsledku zvyšující se teploty, která byla vyvolána jinými přirozenými příčinami [4].



Obrázek 2: Koncentrace CO₂ v ovzduší [5]

Např. podle Moldana koncentrace CO₂ nestoupá tak rychle jak by odpovídalo antropogenním emisím CO₂, protože ji ovlivňuje i zvýšená fotosyntéza a především oceán. Vody oceánu pohlcují více oxidu uhličitého, než jej stačí uvolnit. Nelze však zatím odhadnout, jaké množství CO₂ bude ještě oceán schopen pohltit, protože vrchní vrstvy oceánských vod v důsledku postupného okyselování přicházejí o své absorpční schopnosti. To může mít negativní dopad i na mořskou biotu včetně korálových ekosystémů [1].

Za existenci 99 % emisí CO₂ je zodpovědná výroba energie (50 % methanu a oxidu uhelnatého, 97 % oxidu siřičitého a 88 % oxidů dusíku) [6].

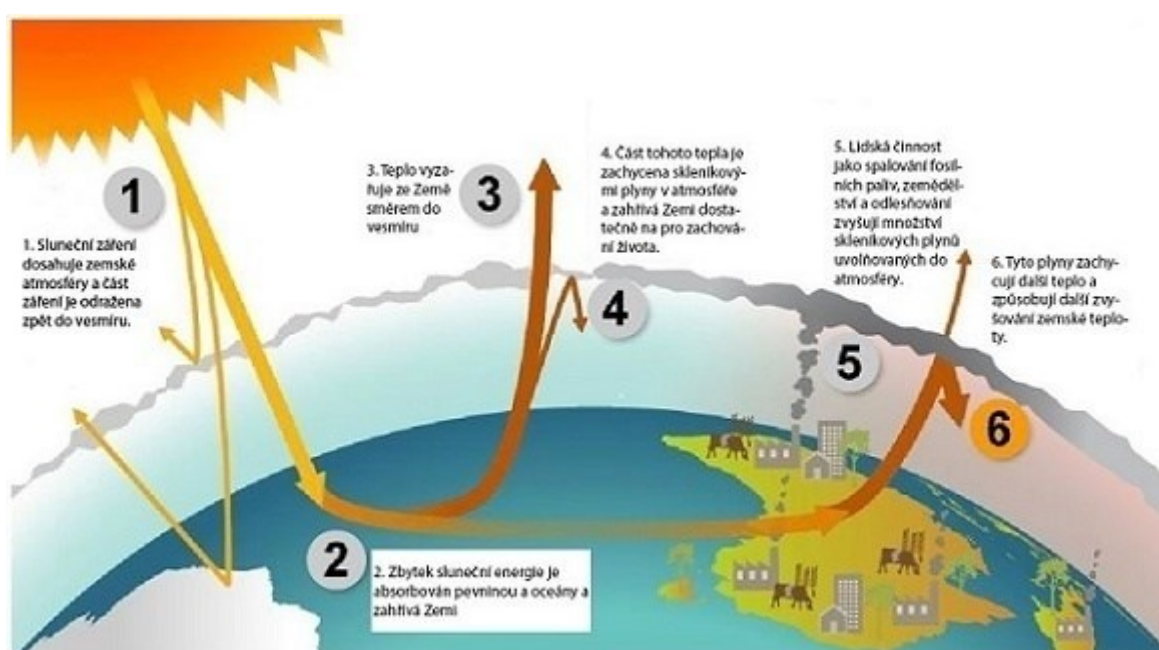
V roce 2007 se konala 4. hodnotící zpráva IPCC (Mezivládní panel pro změny klimatu). Klimatologové došli k závěru, že hlavní příčina klimatické změny je způsobena lidskou činností a to antropogenními skleníkovými plyny. Na prvním místě je to CO₂, pak CH₄ a N₂O a troposférický ozón. Emise nejdůležitějšího skleníkového plynu, oxidu uhličitého, zaznamenaly od počátku devadesátých let dvacátého století ještě jednou značný nárůst. Tehdy představovala jeho roční emise 23,5 miliard tun ročně. Nyní se každoročně

vypouští do atmosféry 26,4 miliardy tun. K tomu je ještě třeba připočítat nepřímé emise ve výši 1,8 až 9,9 miliard tun v důsledku kácení lesů a změněného využívání půdy. Oproti tomu lze označit jako téměř zanedbatelné přirozené příčiny oteplování, například mírně zvýšenou sluneční činnost. Oteplování zmírňuje antropogenní znečištění vzduchu nejmenšími částicemi, takzvanými aerosoly, které vyvolávají zvýšenou oblačnost, což má za následek zvýšení albeda. Bez působení tohoto antropogenního ochlazovacího efektu by bylo oteplení ještě větší. Antropogenní efekt oteplení má podle hodnocení IPCC celkově daleko vyšší dopad na současnou klimatickou změnu než působení přirozených činitelů [7].

James Lovelock ve své knize *Mizející tvář Gaii* uvádí: „*Důsledky přelidnění a následných emisí se jen málo liší od důsledků fotosyntézy jednobuněčných rostlin, které asi před dvěma miliardami let natolik změnilы svůj svět, že celou řadu anaerobních ekosystému odsoudily k životu v podzemí. Znečištěním v tomto případě byl kyslík, jedovatý karcinogenní plyn, podporující hoření, a život včetně nás musel reagovat tak, aby z něj měl prospěch. Stejně jako tyto řasy jsme se nedokázali vyhnout současnému přelidnění a neudržitelnému stavu*“ [8].

2.1.1 Skleníkový efekt

Skleníkový efekt je přírodním procesem, který zahřívá zemský povrch. Když sluneční energie dosáhne zemské atmosféry, je část této energie odražena zpět a zbytek je absorbován a znovu vyzařen skleníkovými plyny (viz obrázek 3). Mezi skleníkové plyny patří například vodní páry, oxid uhličitý, methan, ozon, aj. (viz tabulka 1). Absorbovaná energie zahřívá atmosféru a zemský povrch, tento proces udržuje teplotu na Zemi zhruba o 33°C vyšší, než by byla bez skleníkového efektu a tím umožňuje život na Zemi [9].



Obrázek 3: Skleníkový efekt [9]

V roce 1997 se v Kjótu průmyslově vyspělé státy zavázaly, že sníží emise skleníkových plynů do let 2008-2012 o 5,2 % (hodnoty budou porovnávány ke stavu v roce 1990). Sledované plyny jsou definovány tzv. Kjótským košem (viz tabulka 1). Do toho nejsou zahrnuty skleníkové plyny, které jsou regulovány v rámci Montrealského protokolu. Mezi skleníkové plyny patří i vodní pára (je považována za nejvýznamnější ze skleníkových plynů), avšak zatím se nepředpokládá, že by lidská činnost měla nějaký vliv na její koncentraci v atmosféře [1].

Kjótského protokolu se účastní státy Evropské unie, Spojené státy (které však protokol neratifikovaly), Kanada (která se Kjótského protokolu vzdala), Japonsko, Nový Zéland, Rusko, Ukrajina, Norsko, Austrálie a Island [10].

Tabulka 1: Skleníkové plyny tzv. Kjótského koše [1].

Plyny	Nárůst koncentrace	Podíl na globálním oteplování	Hlavní antropogenní zdroje
CO₂	40%	64%	Spalování fosilních paliv, odlesňování a změny využívání půdy, výroba cementu, vápna, atd.
CH₄	200%	20%	Výroba a užívání energie (včetně biomasy), zvířata, pěstování rýže, odpadní vody, organické odpady na skládkách, úniky při těžbě uhlí a dalších paliv
N₂O	25%	6%	Používání hnojiv, výroba kyseliny dusičné a adipové, spalování biomasy, spalování fosilních paliv
Chlorované a fluorované uhlovodíky (CFC)	Látka výhradně antropogenního původu	10%	Používání chladniček, klimatizací, chemický průmysl, spreje, nadouvadla
Polyfluorované uhlovodíky (PFC)	Látka výhradně antropogenního původu		Výroba hliníku
SF₆ – fluorid sírový	Látka výhradně antropogenního původu		Distribuce elektřiny

V souvislosti s Kjótským protokolem a zároveň se změnou režimu (a poklesem industriální aktivity) zaznamenala Česká republika významný pokles emisí CO₂ (viz tabulka 2), konkrétně o 23,46 %. Podobně na tom byly i další evropské země jako

Bulharsko (35,10%), Estonsko (20,83%), Litva (43,05%), Polsko (18,61%), Slovensko (27,33%) a Maďarsko (19,93%) [6].

Tabulka 2: Emise CO₂ v ČR a celosvětově od roku 1992 do roku 2009 (v tunách na osobu) [6]

	1992	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009
ČR	13,47	12,76	12,11	12,54	10,94	12,15	11,99	11,80	11,99	10,31
Svět	4,09	4,04	4,07	4,11	4,01	4,10	4,29	4,57	4,70	4,72

2.1.2 Názory na vliv CO₂ na globální oteplování

Pravděpodobně světově nejznámější osobou vyjadřující se ke skleníkovému efektu je Al Gore, viceprezident USA, který v roce 2000 kandidoval na prezidenta. Jeho dokumentární film *Nepříjemná pravda* věnovaný problematice globálního oteplování získal Cenu Akademie za nejlepší dokumentární snímek.

Al Gore je zastáncem názoru, že za globální oteplování mohou antropogenní vlivy. Uvádí, že v zemské atmosféře za posledních 650 tisíc let nikdy nebylo takové množství CO₂, jako je dnes. Koncentraci oxidu uhličitého srovnává s teplotními výkyvy a varuje před jejich možnou souvislostí [11].

Jeho kniha *Nepříjemná pravda* je environmentální a politickou agitací směřovanou na obyvatelstvo USA za účelem snížení emisí CO₂, kterých Spojené státy podle jeho údajů produkují 25 % z celého světa. Gore varuje před katastrofálními důsledky, které skleníkové plyny mohou mít nejen na lidskou společnost [11].

Asi nejznámějším a nejzarputilejším odpůrcem Ala Gorea je v České republice bývalý prezident Václav Klaus, který odmítá myšlenky tzv. environmentalismu a označuje je za násilné omezování lidského pokroku. Klaus nesouhlasí s umělým omezováním znečištění a považuje je za omezování ekonomického pokroku a rozvoje [12].

Václav Klaus ve své knize *Modrá, nikoli zelená planeta* píše: „Al Gore, ve své nedávné, široce publikované newyorské přednášce, výslovně říká, že „čelíme planetární katastrofě“, a když „něco neuděláme během deseti let, nebude možné vyhnout se nevratné zkáze obyvatelnosti planety pro lidskou civilizaci“ (New York University Law School, 18. 9. 2006). Tento výrok je zcela absurdní, zcela výjimečný a má charakter poplašné zprávy. Ve výrocích tohoto typu se mimo jiné zapomíná na to, že celé dějiny naší planety,

2014

stav a tvar souše, vodstva, struktura živočišných a rostlinných druhů, vývoj atmosféry atd. jsou předmětem permanentního procesu změn, vyvolaných jak složitými endogenními přírodními mechanizmy, tak i námi neovlivnitelnými faktory exogenními, které jsou – jako např. působení Slunce – zcela mimo náš jakýkoli dosah“ [12].

Jedním z Klausových argumentů je fakt, že emise CO₂ na hlavu vzrůstaly pouze do roku 1979 a od té doby klesají. Je však nutné si uvědomit, že celkové světové emise stále rostou, neboť počet obyvatel Země od roku 1979 narostl přibližně o více než dvě miliardy obyvatel, a tedy tento údaj může být trochu zavádějícím [12].

2.1.3 Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC)

Mezivládní panel pro klimatickou změnu (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) je tvořen skupinou vědců z celého světa založenou Světovým programem pro životní prostředí OSN (UNEP) a Světovou meteorologickou organizací (WMO) v roce 1988. Hlavním úkolem IPCC je vypracovat každých 5 až 6 let hodnotící zprávu o současném stavu vědeckého poznání o změně klimatu a jejích environmentálních a socioekonomických dopadech [13].

K práci IPCC přispívá tisíce vědců z celého světa. Činnost panelu a spolupráci s vládami koordinuje sekretariát za podpory Programu OSN pro životní prostředí (UNEP) a Světová meteorologická organizace (WMO). Panel je otevřený všem členským státům OSN a WMO, v současné době má 195 členských států. Každý z nich je zastoupen jedním odborníkem, který má možnost vyjadřovat se k obsahu vydávaných zpráv. Českou republiku od roku 2009 zastupuje RNDr. Ladislav Metelka Ph.D. z Českého hydrometeorologického ústavu [13].

2.2 Legislativa

Prvním opatřením v České republice, jehož cílem bylo snížení emisí skleníkových plynů, je systém obchodování s emisemi skleníkových plynů, zavedený v členských státech EU, známý pod zkratkou EU ETS (European Union Emission Trading Scheme), který má sloužit jako nástroj pro snížení emisí skleníkových plynů. ETS byl zaveden v rámci EU na základě směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES a v České republice byl realizován zákonem č. 695/2004 Sb. Nepostradatelnou součástí ETS je Národní alokační plán (NAP), dokument, popisující podmínky a výsledky přidělování

povolenek do jednotlivých závodů. Další důležitou součástí EU ETS je způsob monitorování a vykazování emisí CO₂ z jednotlivých zdrojů, který je popsán v rozhodnutí Evropské komise č. 2004/156/ES a který byl realizován v České republice ve formě vyhlášky ministerstva životního prostředí č. 696/2004 Sb. Účelem tohoto dokumentu bylo poskytnout lepší pochopení a zvládnutí této metody, zejména, co se týče stanovení emisních faktorů [14].

2.2.1 Předpisy EU

Řada povinností v oblasti ochrany ovzduší má svůj základ v předpisech Evropské unie. Jedním z nejdůležitějších je rámcová směrnice 2008/50/ES o kvalitě vnějšího ovzduší a čistším ovzduší pro Evropu. Dalším podstatným předpisem je směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích [15].

Z hlediska ochrany ozonové vrstvy a klimatického systému Země před nepříznivými účinky regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů jsou zásadními nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1005/2009 ze dne 16. září 2010 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, v platném znění, a nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 842/2006 ze dne 17. května 2006 o některých fluorovaných skleníkových plynech [15].

2.2.2 Předpisy ČR

Základním právním předpisem v oblasti ochrany ovzduší je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Stanoví zejména práva a povinnosti provozovatelů zdrojů znečišťování ovzduší, nástroje ke snižování množství látek, které znečišťují ovzduší, působnost správních orgánů a opatření k nápravě a sankce [15].

Zákon č. 73/2012 Sb., o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu a o fluorovaných skleníkových plynech, upravuje práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně ozonové vrstvy Země a klimatického systému Země před nepříznivými účinky regulovaných látek a fluorovaných skleníkových plynů. Prováděcím právním předpisem k zákonu č. 73/2012 Sb. je vyhláška č. 257/2012 Sb., o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů [15].

Vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích.

Vyhláška č.415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.

Zákon č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. Zákon zapracovává příslušné legislativní předpisy Evropské unie v oblasti ochrany klimatu do českých legislativních předpisů a upravuje podmínky v oblasti obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. Dále upravuje postupný přechod od přidělování bezplatných emisních povolenek k systému prodeje povolenek v aukcích a specifikuje náležitosti spojené s vydáváním povolení k emisím skleníkových plynů [15].

Uvádí, na jaká zařízení se systém vztahuje a jaká jsou práva a povinnosti jejich provozovatelů. Provozovatelé monitorují své emise, vykazují je každoročně Ministerstvu životního prostředí a vyřazují za ně povolenky. Část povolenek dostanou provozovatelé bezplatně, zbytek si mohou koupit na trhu nebo v aukci. Povolenky existují a pohybují se na účtech v rejstříku povolenek, jehož národním správcem je OTE, a.s. (Operátor trhu s elektřinou) [16].

2.2.3 Emisní obchodování

Emisní obchodování je nástroj, který má přispět ke snížení emisí skleníkových plynů co nejefektivnějším způsobem, a tím zabránit globálním změnám klimatu. Subjekty, které mají možnost redukovat emise s vynaložením nižších nákladů, mohou uspořené emisní povolenky nebo jiné emisní kredity prodat těm, u nichž by taková redukce byla nákladnější. Obchodovat mezi sebou mohou státy Dodatku 1 Kjótského protokolu v rámci flexibilního mechanismu Mezinárodní emisní obchodování (International Emission Trading, IET); největším systémem emisního obchodování je European Union Emission Trading Scheme (EU ETS), kterého se jako členský stát EU účastní i Česká republika [16].

Jedna emisní povolenka představuje právo vypustit jednu tunu ekvivalentu CO₂, tzn. 1 povolenka = právo vypustit 1 tunu emisí [17].

EU ETS zahrnuje přes 11 000 zařízení ze sektorů energetického průmyslu, výroby oceli a železa, cementu a vápna, celulózy a papíru, sklo-keramického průmyslu, chemického průmyslu, rafinérií a letecké přepravy v 31 státech a pokrývá cca 2 mld. t CO₂ ročně. V roce 2020 budou emise z průmyslových zdrojů v EU ETS o 21 % nižší ve srovnání s rokem 2005 [16].

2.2.4 Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO)

V souladu s legislativou platnou od roku 2002 jsou zdroje znečišťování ovzduší rozděleny pro potřeby emisní bilance do jednotlivých kategorií. Podle tohoto rozdělení jsou v rámci Informačního systému kvality ovzduší (ISKO) provozovaného ČHMÚ zavedeny databáze Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO), které slouží k archivaci a prezentaci údajů o stacionárních a mobilních zdrojích znečišťování ovzduší (viz tabulka 3).

Zvláště velké, velké a střední zdroje znečišťování ovzduší jsou sledovány jako bodové zdroje jednotlivě, malé zdroje plošně na úrovni krajů a obcí (pouze vytápění domácností), mobilní zdroje liniově (silniční doprava na úsecích zahrnutých do sčítání dopravy) a plošně na úrovni krajů (ostatní mobilní zdroje) [18].

I. Zvláště velké a velké zdroje - REZZO 1

II. Střední zdroje - REZZO 2

III. Malé zdroje - REZZO 3

IV. Mobilní zdroje - REZZO 4 [18].

Tabulka 3: Zdroje znečišťování ovzduší REZZO [19].

Soubor	Popis zdrojů	Typ zdroje	Způsob evidence
REZZO 1	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů (např. spalovny odpadů)	Bodový	Zdroje jednotlivě sledované
REZZO 2	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy, plochy s možností hoření a zapaření nebo úletu znečišťujících látek	Bodový	Zdroje jednotlivě sledované
REZZO 3	Stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu nižším než 0,2 MW, zařízení technologických procesů nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou znečišťovat ovzduší, skládky paliv, surovin, odpadů, produktů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti výrazně znečišťující ovzduší	Plošný	Zdroje hromadně sledované
REZZO 4	Mobilní zdroje znečišťování ovzduší samohybná a další pohyblivá, případně přenosná zařízení vybavená spalovacími motory znečišťující ovzduší, zejména silniční motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla a letadla	Liniový	Zdroje hromadně sledované

3 EMISNÍ FAKTORY CO₂ PRO RŮZNÉ DRUHY PALIV – METODY ZJIŠŤOVÁNÍ EMISNÍCH FAKTORŮ A VÝPOČET, HODNOTY STANOVENÉ MŽP

3.1 Emisní faktor

Podle nařízení o monitorování a vykazování emisí se „emisním faktorem“ rozumí *průměrná míra emisí skleníkového plynu vzhledem k údajům o činnosti zdrojového toku za předpokladu úplné oxidace pro spalování a kompletní konverze pro všechny ostatní chemické reakce* [17].

Jak se odráží v této definici, emisní faktor je stechiometrický faktor, pomocí kterého se obsah uhlíku (z fosilních paliv) daného materiálu převádí na předpokládanou ekvivalentní hmotnost emitovaného CO₂ (z fosilních paliv). Neúplnost reakce se zohlední pomocí oxidačního nebo konverzního faktoru. Někdy se v národních inventurách oxidační nebo konverzní faktory nepoužívají (tj. hodnota těchto faktorů je stanovena jako 100 %), ale neúplnost reakce je zohledněna v emisním faktoru [17].

Pro emise ze spalování se emisní faktor vyjadřuje ve vztahu k obsahu energie (výhřevnosti) paliva, a nikoli k jeho hmotnosti či objemu. Za určitých podmínek (pokud je použití emisního faktoru vyjádřeného jako t CO₂/TJ spojeno s neúměrně vysokými náklady nebo pokud lze dosáhnout alespoň stejné přesnosti vypočítaných emisí) však může příslušný orgán provozovateli povolit použití emisního faktoru vyjádřeného jako t CO₂/t paliva nebo t CO₂/Nm³ [17].

3.2 Metodické pokyny

MŽP je ústředním orgánem státní správy v oblasti ochrany ovzduší. K zajištění metodického vedení podřízených orgánů ochrany ovzduší (ČIŽP, krajské úřady, obecní úřady) vydává ve Věstníku MŽP metodické pokyny [20].

V metodických pokynech Nařízení Komise (EU) č. 601/2012 ze dne 21. června 2012 o monitorování a vykazování emisí skleníkových plynů podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES, jsou podrobně popsány postupy monitorování, vykazování a ověřování emisí [20].

Pokyny č. 1 seznamují provozovatele stacionárních zařízení s povinnostmi, které souvisí s ročním cyklem monitorování, vykazování a ověřování emisí a vysvětlují principy,

2014

na nichž je tento cyklus založen. Dokument dále obsahuje popis jednotlivých přístupů k monitorování: metod založených na výpočtu a měření i tzv. nouzových postupů.

Pokyny č. 5 jsou věnovány případům, kdy je nutné stanovit výpočtové faktory pomocí laboratorních (chemických) analýz v souladu s články 32 až 35 Nařízení. Samostatné kapitoly se týkají plánu odběru vzorků, stanovení odpovídající četnosti analýz a požadavků na laboratoře používané k provádění analýz [20].

3.3 Výpočet emisního faktoru v uhlí a koksu

Emisní faktor CO₂ pro spalování tuhých paliv lze v souladu s metodickými pokyny vyjádřit následujícím vzorcem:

$$\text{CO}_2\text{EF} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{Q_i^r} [\text{t CO}_2/\text{TJ}] \quad (1)$$

kde C^r je obsah uhlíku v palivu připadající na surový vzorek (tj. v dodaném palivu), Q_i^r je výhřevnost dodaného paliva a poměr 44/12 představuje stechiometrický koeficient. Jestliže Q_i^r vyjádříme v TJ/t, C^r jako hmotnostní zlomek, vyjde nám CO₂EF v t CO₂/TJ. Tento vzorec se používá při experimentálním stanovení emisního faktoru tuhých paliv. Je třeba upozornit na nutnost náležitého výběru vzorků pro stanovení reprezentativního ročního průměru daného typu tuhého paliva. Dále je třeba upozornit, že potřebné jakostní znaky daného paliva, tedy obsah uhlíku i výhřevnost, je třeba brát pro stanovení EF z jednoho odběru [14].

Příklad: Obsah uhlíku v dodaném palivu je 60%, výhřevnost je 23,3 MJ/kg. To odpovídá hmotnostnímu zlomku $C^r = 0,6$ a výhřevnosti $Q_i^r = 0,0233$ TJ/t. Emisní faktor CO₂ je tedy: $\text{CO}_2\text{EF} = \frac{44}{12} \cdot \frac{0,6}{0,0233} = 94,42 \text{ t CO}_2/\text{TJ}$.

Emisní faktor uhlíku se vypočte ze vzorce:

$$\text{CEF} = \frac{X_c}{Q_i^r}, \quad (2)$$

kde X_c je hmotnostní zlomek uhlíku.

Vzhledem k tomu, že obsah uhlíku je udáván v % hm., výhřevnost v MJ/kg a výsledný emisní faktor v t C/TJ, musí být rovnice pro výpočet CEF upravena na tvar:

$$\text{CEF} = \frac{10 C^r}{Q_i^r} [\text{t C/TJ}] \quad (3)$$

Potom se pro výpočet CO₂EF použije vztah:

$$\text{CO}_2\text{EF} = \frac{44}{12} \cdot \text{CEF} \quad (4)$$

Primární výsledky analýz jsou obvykle vztaženy na suchý vzorek. Pro další výpočty je tedy třeba znát též obsah veškeré vody v palivu. Je-li obsah uhlíku vztažen k suchému vzorku (C^d), provádí se přepočtení na surový vzorek (tj. dodané uhlí v původním stavu) C^r podle vztahu:

$$C^r = C^d \cdot \frac{100 - W_t^r}{100} \quad (5)$$

kde W_t^r je veškerá voda v surovém palivu. Údaje o obsahu uhlíku a vody v palivech jsou tradičně udávány v procentech. Při výpočtech je praktičtější pracovat s hmotnostními zlomky [14].

3.4 Výpočet emisního faktoru v plynném palivu

Spalování plyných paliv významně přispívá k celkovým emisím oxidu uhličitého. Plyná paliva jsou většinou směsí uhlovodíků, oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého, vodíku a kyslíku. Složení těchto plyných směsí je vyjádřeno v objemových procentech. Vydělením těchto hodnot 100 dostaneme objemové zlomky definované jako:

$$v_i = \frac{V_i}{\sum_i V_i} = \frac{V_i}{V}, \quad (6)$$

kde V_i je objem složky i a V je celkový objem plyné směsi.

Množství uhlíku, který je obsažen ve složkách plyné směsi může být vyjádřen jako: hmotnost uhlíku ve vztahu k celkové hmotnosti složky i

$$w_{i,C} [\text{kg C/kg plynu}] \quad (7)$$

hmotnost uhlíku ve vztahu k celkovému objemu složky i

$$x_{i,C} [\text{kg C/m}^3 \text{ plynu}] \quad (8)$$

Hmotnostní zlomek uhlíku dané složky se vypočítá ze vztahu:

$$w_{i,C} = \frac{12a_C}{M_i}, \quad (9)$$

kde a_C je počet atomů uhlíku v molekule složky a M_i je její molekulová hmotnost. Hmotnost uhlíku vztažena na objem plyné složky se vypočítá ze vztahu:

$$x_{i,C} = \rho_i w_{i,C}, \quad (10)$$

kde ρ_i je její hustota. Pokud není hustota dána, je možno ji vypočítat ze stavové rovnice plynu:

$$\rho_i = \frac{pM_i}{Z_iRT} \quad (11)$$

kde p a T jsou absolutní tlak v kPa a teplota v K, R je univerzální plynová konstanta, jejíž hodnota je 8,314 J/Kmol a Z_i je kompresibilní faktor složky, který lze pro nízké tlaky považovat rovný jedné. Hustoty pro různé teploty a tlaky lze vypočítat z rovnice (11). Extenzivní veličiny, mezi které patří hustota, mají aditivní vlastnosti a dají se určit jako součet příspěvků jednotlivých částí soustavy. Hustota plyné směsi se pak vypočte z příspěvků hustot jednotlivých plyných složek:

$$\rho = \sum_i v_i \rho_i \quad (12)$$

Podobně se vypočítá hmotnost uhlíku obsažená v jednotce objemu plyné směsi X_C :

$$X_C = \sum_i x_{i,C} v_i \text{ [kg C/m}^3 \text{ plynu]} \quad (13)$$

a výhřevnost plyné směsi:

$$Q_V = \sum_i v_i Q_{i,V} \text{ [MJ/m}^3 \text{]} \quad (14)$$

Pro výhřevnost na hmotnostním základě platí:

$$Q_m = \frac{Q_V}{1000\rho} \text{ [TJ/t]} \quad (15)$$

kde ρ je hustota plyné směsi.

Podle metodologie IPCC (Mezivládní panel pro změnu klimatu) se celkové množství emisí uhlíku m_C určí podle níže uvedené rovnice:

$$m_C = m \cdot \text{CEF} \cdot Q_m \text{ [t]}, \quad (16)$$

kde m je celkové množství paliva v tunách. CEF je emisní faktor uhlíku, který představuje množství uhlíku v tunách na jednotku energie vyjádřenou v TJ:

$$\text{CEF} = \frac{X_C}{Q_V} \cdot 1000 \text{ [t C/TJ]} \quad (17)$$

Emisní faktor oxidu uhličitého CO₂EF a uhlíku CEF jsou ve vztahu:

$$\text{CO}_2\text{EF} = \frac{44}{12} \text{CEF} \text{ [t CO}_2\text{/TJ]} \quad (18)$$

Použitý zdroj [21].

3.5 Výhřevnosti, emisní faktory CO₂ (CO₂ EF) a oxidační faktory použité v české národní inventuře skleníkových plynů

Tabulka výhřevností, emisních a oxidačních faktorů pro potřeby vykazování emisí za rok 2013 je výňatkem z aktuální české inventury skleníkových plynů (viz tabulka 4) [22].

Tabulka 4: Výhřevnosti, emisní faktory CO₂ (CO₂EF) a oxidační faktory [22].

Palivo (definice podle IPCC 1996 Guidelines)	NCV ^{a)} [TJ/Gg]	CO ₂ EF ^{b)} [t CO ₂ /TJ]	Ox. faktor [t/t]	CO ₂ EF ^{c)} [t CO ₂ /TJ]
Surová ropa	43,97	73,33	0,99	72,60
Lehký topný olej (LTO)	42,59	74,07	0,99	73,33
Těžký topný olej (TTO)	39,47	77,37	0,99	76,59
Kapalný ropný plyn - LPG	43,81	63,07	0,995	62,75
Petrochemický nástřik (nafta)	43,97	73,33	0,99	72,60
Bitumen	40,19	80,67	0,99	79,86
Maziva	40,19	73,33	0,99	72,60
Ropný koks	37,50	100,83	0,98	98,82
Ostatní oleje	40,19	73,33	0,99	72,60
Koksovatelné černé uhlí ^{e)}	29,21	93,24	0,98	91,38
Ostatní černé uhlí ^{e)}	25,16	93,24	0,98	91,38
Hnědé uhlí a lignit ^{e)}	11,83	99,99	0,98	97,99
Brikety	20,82	94,60	0,98	92,71
Koks (černouhelný)	27,95	108,17	0,98	106,00
Koksárenský plyn (TJ/mil. m ³) ^{d)}	15,62	47,67	0,995	47,43
Zemní plyn (TJ/Gg)	57,23	55,23	0,995	54,95
Zemní plyn (TJ/mil. m ³) ^{d)}	34,34	55,23	0,995	54,95

a) NCV - *net calorific value* – výhřevnost

b) Emisní faktor nezahrnující oxidační faktor

c) Výsledný emisní faktor zahrnující oxidační faktor

d) TJ/mil. m³, t=15 °C, p=101,3 kPa (tzv. obchodní podmínky)

e) Národně specifické hodnoty CO₂ EF

f) Používané hodnoty oxidačních faktorů při národní inventarizaci skleníkových plynů jsou dle skupenství 0,995 pro plyná, 0,99 pro kapalná a 0,98 pro tuhá paliva.

4 VÝPOČET PROVOZNÍCH HODNOT EMISNÍCH FAKTORŮ CO₂ PRO VYBRANÁ PALIVA

V této kapitole budu zjišťovat emisní faktory pro vybrané druhy paliv, na základě provedených analýz a výpočtů. Následně je budu porovnávat mezi sebou a se standardními hodnotami uvedenými IPCC.

4.1 Specifikace použitých paliv

Výrobní činnost společnosti ArcelorMittal Ostrava a.s. je zaměřena na výrobu a zpracování surového železa a oceli a hutní druhovýrobu.

V laboratořích v Závodu 10 – Koksovna, se provádí rozbory koksovatelného uhlí pro výrobu koksu (viz obrázek 4). Dopravené černé uhlí se mele na požadovanou zrnitost a mísí na požadované technologické parametry. Součástí vsázky jsou i další produkty (např. dehtový recyklát, kal z BČOV apod.). Takto připravená směs uhlí se dopraví do koksovacích komor koksovací baterie, kde se po určitou dobu zahřívá přes topné stěny za nepřístupu vzduchu. Během tohoto procesu dojde k přeměně vstupní suroviny na koks. Proces koksování uhlí se nazývá pyrolýza (karbonizace uhlí). Vytlačený žhavý koks se zchladí vodou pod hasicí věží, v objektech třídíren se pak drtí a třídí podle frakcí na vysokopecní koks, který se používá při výrobě surové železa ve vysokých pecích a sortimenty: ořech, hrášek, prach (viz tabulka 5) [23].

Tabulka 5: Granulometrický sortiment koksu

Druh koksu	Zrnitost
Vysokopecní koks	nad 30 mm
Ořech	20 – 40 mm
Hrášek	10 – 25 mm
Prach	pod 10 mm

Při otápění koksárenských baterií se jako topné plyny používají vysokopecní, koksárenský a směsný plyn (míchání vysokopecního a koksárenského, případně degazačního plynu).

V průběhu koksovacího procesu vzniká surový koksárenský plyn, který je nutno před dalším využitím zpracovat za vzniku vedlejších produktů koksování – surového koksárenského dehtu, surového koksárenského benzolu a kapalné síry [23].



Obrázek 4: Závod 10 – Koksovna [24].

Dále se v laboratořích provádí analýzy energetického uhlí pro ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o., dříve Závod 4 – Energetika (viz obrázek 5).

ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. představuje složitý a rozsáhlý komplex energetického průmyslu se speciálním zaměřením na potřeby hutního průmyslu [25].

Základní princip fungování uhelné elektrárny je založen na přeměně energie tepelné na mechanickou a mechanické na elektrickou. Teplo uvolněné v kotli ohřívá vodu procházející trubkami uvnitř kotle a mění ji v páru. Pára proudí do turbíny, jejím lopatkám předá svou pohybovou energii a roztočí ji. Vzhledem k tomu, že je turbína pevně spojena s generátorem, roztáčí se i generátor a přeměňuje mechanickou energii na elektrickou. V elektrárenském generátoru rotuje magnet (elektromagnet), vinutí, v němž se indukují napětí a proud, je umístěno na statoru okolo něj. Celé soustrojí se otáčí rychlostí 3000 otáček za minutu. Pára vycházející z turbíny je vedena do kondenzátoru, kde zkondenzuje, tj. z plynu se stane opět kapalina. Z kondenzátoru je voda vedena zpět do kotle, kde celý cyklus začíná znovu. Pára vyrobená v kotli nemusí být využita pouze k výrobě elektrické energie, ale může sloužit i k vytápění přilehlých obcí a měst [26].



Obrázek 5: ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. [25]

4.2 Principy stanovení spalného tepla a uhlíku pevných paliv

Při stanovení spalného tepla v různých tuhých palivech se postupuje podle normy ČSN ISO 1928 (441352) - Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti. Tato norma specifikuje metodu pro stanovení spalného tepla tuhých paliv při konstantním objemu a referenční teplotě 25 °C v kalorimetru s tlakovou nádobou, kalibrovanou spaláním certifikované kyseliny benzoové. Výsledek, dosažený touto metodou, je spalné teplo analytického vzorku při konstantním objemu s celkovou vodou ze zplodin hoření v kapalném stavu. V praxi se palivo spaluje za konstantního (atmosférického) tlaku, voda nekondenzuje, ale odchází jako pára ve spalinách. Za těchto podmínek je účinným teplem při spálení výhřevnost paliva při konstantním tlaku. Lze rovněž používat výhřevnost při konstantním objemu, vzorce pro výpočet obou hodnot jsou uvedeny v této normě [27].

Stanovení spalného tepla pomocí kalorimetru IKA C 5000 (viz obrázek 6) spočívá ve spálení navážky paliva v kyslíku pod tlakem v kalorimetrické tlakové nádobě (za stálého objemu) v adiabatických podmínkách, ve změření vzestupu teploty vody ve vnitřní kalorimetrické nádobě a stanovení oprav na teplo, které se uvolní při spálení nitky a teplo, uvolněné při vzniku kyselin sírové a dusičné. Výhřevnost (Q^r_i) se vypočte ze spalného tepla (Q^a_s), vody obsažené v palivu (W^r_t) a vody vzniklé spálením vodíku obsaženého v palivu [28].

Metoda je vhodná pro stanovení spalného tepla uhlí a koksu. Rozsah měření teplotního nárůstu se musí pohybovat do 4 K, což odpovídá maximálnímu tepelnému příkonu spalovaného vzorku 40000 J. Jedná se o rozsah udaný výrobcem přístroje.

Navážka vzorku musí zajistit dokonalé spálení za podmínek metody a příslušný energetický příkon nesmí být vyšší než výše uvedená maximální hodnota [28].



Obrázek 6: Kalorimetr IKA 5000 [29].

Při stanovení obsahu uhlíku v různých tuhých palivech se postupuje podle normy: ČSN ISO 29541- Stanovení obsahu veškerého uhlíku, vodíku a dusíku - Instrumentální metoda. Správné a přesné stanovení obsahu uhlíku v uhlí má zásadní význam pro účely vykazování uhlíku. Tato mezinárodní norma specifikuje způsob stanovení obsahu celkového uhlíku, vodíku a dusíku v uhlí a koksu instrumentálními metodami [30].

Pro stanovení uhlíku je používán analyzátor TruSpec CHN (viz obrázek 7), který pracuje na principu Dumasovy metody. Vzorek uhlí nebo koksu zabalený do cínové fólie je dávkovacím zařízením spuštěn do spalovací pece, kde je spálen v proudu kyslíku v porézním keramickém kelímku a dohořívací sekci (max. pracovní teplota pece je 950°C). Spaliny jsou pak odvedeny do balastního válce, kde jsou shromážděny a promíšeny. Z balastního válce jsou vypuštěny přes 2 sériově řazené infračervené cely (1. cela pro detekci H₂O odpovídající obsahu vodíku ve vzorku, 2. cela pro detekci CO₂ odpovídající obsahu uhlíku ve vzorku) a alikvotní podíl je dávkován do dávkovací smyčky pro následné stanovení dusíku. Z dávkovací smyčky je alikvotní podíl spalin vypláchnut nosným plynem heliem přes katalytickou píčku (z důvodu redukce NO_x na N₂ a odstranění stop kyslíku ze spalin), reagenční trubici s Lecosorbem (pro odstranění stop CO₂ ze spalin)

a Anhydronem (pro odstranění stop H₂O ze spalín) do systému tepelně vodivostního detektoru ke stanovení dusíku [31].



Obrázek 7: TruSpec firmy LECO [32].

4.3 Principy stanovení spalného tepla a uhlíku plyných paliv

Stanovení spalného tepla a obsahu uhlíku v plyných palivech se provádí podle normy: ČSN EN ISO 6976 - Zemní plyn - Výpočet spalného tepla, výhřevnosti, hustoty, relativní hustoty a Wobbeho čísla. Norma stanovuje metody pro výpočet spalného tepla, výhřevnosti, hustoty, relativní hustoty a Wobbeho čísla suchého zemního plynu, náhradního zemního plynu a ostatních plyných paliv, u nichž je známo molární složení [33].

Stanovení složení topných plynů se provádí metodou plynové chromatografie s použitím vícekolonového systému s ventilovým přepínáním a s kvantitativním vyhodnocením metodou vnitřní normalizace nebo vnější standardizace [34].

K analýze se používá plynový chromatograf 6890N firmy Agilent Technologies (viz obrázek 8), nebo jiný podobný přístroj, vybavený dvěma šesticestnými dávkovacími ventily, jedním deseticestným přepínacím ventilem toku nosného plynu, dvěma dávkovacími smyčkami, tepelně vodivostním a plamenoionizačním detektorem a separačním systémem se třemi kapilárními a jednou náplňovou kolonou. Kolony jsou umístěny v teplotně programovatelném termostatu a celý systém musí zaručit dělení složek umožňující jejich kvantitativní vyhodnocení. Plynový chromatograf je připojen k počítači

s vhodným programem, který umožňuje ovládání celého systému, sběr dat a jejich vyhodnocení [35].

Průměrný denní vzorek koksárenského plynu nebo okamžitý vzorek je odebrán do skleněné vzorkovnice s uzavírací kapalinou. Vzorek plynu lze také odebrat do plynotěsných vaků ze speciálních neabsorbujících materiálů např. „Tedlar vaky“ [34].

Plyn se dávkuje do plynového chromatografu ze skleněné vzorkovnice pomocí uzavírací kapaliny (nasycený roztok NaCl – chlorid sodný) přes vrstvu anhydronu. Vzorkovnice se připojí k láhvi s uzavírací kapalinou tak, aby nebyl vzorek při dávkování kontaminován okolním vzduchem (nutno zaplnit přívod vzorkovnice uzavírací kapalinou). Pootevřením a následným uzavřením spodního kohoutu se zjistí, zda je uvnitř přetlak, ten se odpustí. Pak se vzorkovnice připojí k trubici s anhydronem a otevře spodní kohout. Otevřením horního kohoutu se propláchnou dávkovací smyčky 10 až 20 ml vzorku plynu (vývod je připojen k průtokoměru) [34].



Obrázek 8: Plynový chromatograf 6890N firmy Agilent Technologies [36].

V tabulce 6 jsou uvedeny základní složky plyných směsí produkovaných a používaných v AMO, včetně parametrů potřebných k výpočtu emisních faktorů uhlíku a oxidu uhličitého na základě jejich složení.

Tabulka 6: Základní komponenty plyných směsí vyráběných a používaných v AMO

Plyn	Vzorec	M_i	Z_i	ρ_i	$w_{i,C}$	$x_{i,C}$	$Q_{i,V}$
		[g/mol]		[g/cm ³]	[kg C/kg plynu]	[kg C/m ³ plynu]	[MJ/m ³]
Vodík	H ₂	2,02	1,001	0,090			10,78
Kyslík	O ₂	32,00	0,999	1,429			
Dusík	N ₂	28,01	1,000	1,250			
Oxid uhelnatý	CO	28,01	0,999	1,251	0,428	0,536	12,63
Oxid uhličitý	CO ₂	44,01	0,993	1,977	0,273	0,539	
Methan	CH ₄	16,04	0,998	0,717	0,748	0,537	35,89
Ethan	C ₂ H ₆	30,07	0,990	1,355	0,798	1,082	64,38
Ethen	C ₂ H ₄	28,05	0,993	1,261	0,856	1,079	59,48
Ethyn	C ₂ H ₂	26,04	0,991	1,172	0,922	1,080	56,59
Propan	C ₃ H ₈	44,10	0,979	2,010	0,816	1,641	93,12
Propen	C ₃ H ₆	42,08	0,981	1,914	0,855	1,637	87,59
Butan	C ₄ H ₁₀	58,12	0,957	2,709	0,826	2,237	123,86
Pentan	C ₅ H ₁₂	72,15	0,918	3,506	0,832	2,916	159,00
Benzen	C ₆ H ₆	78,11	0,909	3,834	0,922	3,534	155,56

Poznámka:

- molární hmotnosti M_i , kompresibilní faktory Z_i a výhřevnosti $Q_{i,V}$ byly převzaty z ČSN EN ISO 6976
- výhřevnosti $Q_{i,V}$ na objemovém základě byly vypočítány z tabelovaných ideálních hodnot výhřevností na molárním základě uvedených v ČSN EN ISO 6976 pro $p = 101,325$ kPa a $T = 273,15$ K podle vztahu:

$$Q_{i,V} = \bar{H}_i^0 \cdot \frac{101,325}{273,15 R Z_i}, \quad (19)$$

kde \bar{H}_i^0 je ideální výhřevnost na molárním základě [kJ/mol]

- hustoty ρ_i jsou vypočítány z rovnice (11) pro $p = 101,325$ kPa a $T = 273,15$ K
- kompresibilní faktory Z_i jsou uvedeny pro $p = 101,325$ kPa a $T = 273,15$ K

4.4 Emisní faktory CO₂ pro jednotlivé typy tuhých paliv

4.4.1 Výsledky analýz stanovené u koksovatelného uhlí

V laboratoři AMO jsem stanovovala pro Koksovnu rozborů koksovatelného uhlí z polských dolů: Szczygłowice, Knurow, Borynia, Budryk. Dále pak z českých dolů: Paskov, Darkov, ČSM a ČSA. V následujících tabulkách 7 – 14 jsou uvedeny vybrané hodnoty koksovatelného uhlí z jednotlivých dolů. C^r (uhlík v původním stavu) je vypočten z C^d (bezvodého uhlíku) pomocí vzorce (5). CEF (uhlíkový emisní faktor) je vypočten ze vztahu (3) a CO₂EF (emisní faktor CO₂) z rovnice (4).

Tabulka 7: Szczygłowice – výhřevnosti, uhliky a emisní faktory

Szczygłowice					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
6,4	29,55	79,53	74,44	25,19	92,37
6,0	29,84	81,02	76,16	25,52	93,58
5,9	29,63	79,90	75,19	25,37	93,04
6,1	29,72	80,07	75,19	25,30	92,76
5,7	30,08	81,11	76,49	25,43	93,24
5,5	30,15	79,94	75,54	25,06	91,87
Ø	29,83	-	75,50	25,31	92,81

Tabulka 8: Knurow - výhřevnosti, uhliky a emisní faktory

Knurow					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
5,0	30,22	79,5	75,53	24,99	91,64
5,5	29,63	79,57	75,19	25,38	93,05
6,0	29,41	79,64	74,86	25,45	93,33
5,7	29,75	79,66	75,12	25,25	92,58
5,0	30,12	80,11	76,10	25,27	92,65
5,0	29,71	78,82	74,88	25,20	92,41
Ø	29,81	-	75,28	25,26	92,61

Tabulka 9: Borynia -výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Borynia					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
10,9	28,2	81,21	72,36	25,66	94,08
11,0	28,63	82,27	73,22	25,57	93,77
13,3	27,43	81,78	70,90	25,85	94,78
10,5	28,67	81,52	72,96	25,45	93,31
10,6	28,57	81,92	73,24	25,63	93,99
11,3	28,08	81,23	72,05	25,66	94,08
Ø	28,26	-	72,45	25,64	94,00

Tabulka 10: Budryk - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Budryk					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
8,4	29,08	79,99	73,27	25,20	92,39
6,7	29,83	81,35	75,90	25,44	93,29
7,1	29,95	81,65	75,85	25,33	92,86
8,2	29,47	80,68	74,06	25,13	92,15
7,7	29,55	80,64	74,43	25,19	92,36
6,2	30,05	80,93	75,91	25,26	92,63
Ø	29,66	-	74,91	25,26	92,62

Tabulka 11: Paskov - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Paskov					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
9,6	29,14	82,49	74,57	25,59	93,83
12,4	28,07	82,52	72,29	25,75	94,43
9,3	28,97	82,22	74,57	25,74	94,39
10,2	28,77	82,43	74,02	25,73	94,34
9,0	29,38	82,41	74,99	25,53	93,59
10,3	28,80	82,29	73,81	25,63	93,98
Ø	28,86	-	74,04	25,66	94,09

Tabulka 12: Darkov - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Darkov					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
8,3	30,27	83,77	76,82	25,38	93,05
9,3	29,08	82,71	75,02	25,80	94,59
8,7	30,07	84,37	77,03	25,62	93,93
9,0	30,18	84,41	76,81	25,45	93,32
9,6	29,78	83,96	75,90	25,49	93,45
9,1	29,79	82,72	75,19	25,24	92,55
Ø	29,86	-	76,13	25,49	93,48

Tabulka 13: ČSM - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

ČSM					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
8,0	30,65	84,44	77,68	25,35	92,93
7,7	30,74	85,33	78,76	25,62	93,94
8,0	30,37	84,38	77,63	25,56	93,72
8,0	30,27	83,59	76,90	25,41	93,15
7,3	30,65	83,20	77,13	25,16	92,27
7,7	30,80	84,10	77,62	25,20	92,41
Ø	30,58	-	77,62	25,38	93,07

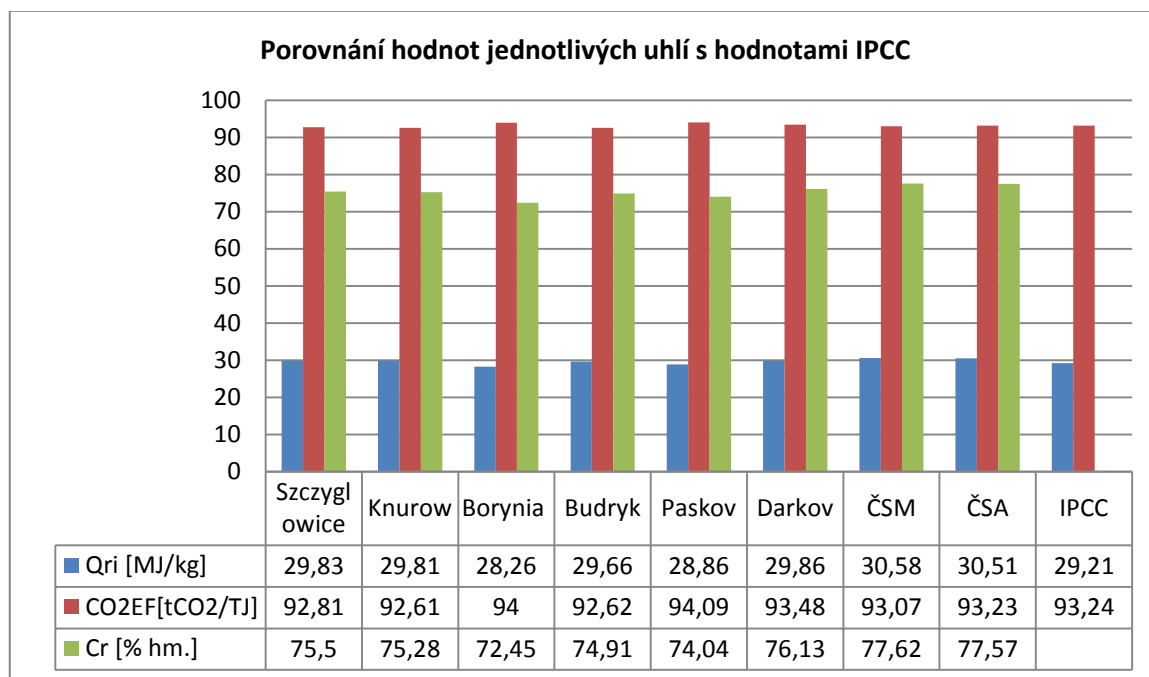
Tabulka 14: ČSA - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

ČSA					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
5,1	30,35	81,42	77,27	25,46	93,35
5,1	30,81	82,38	78,18	25,37	93,04
5,4	30,49	82,50	78,05	25,60	93,86
6,2	30,65	82,19	77,09	25,15	92,23
5,9	30,24	82,12	77,27	25,55	93,70
Ø	30,51	-	77,57	25,43	93,23

V tabulce 15 je shrnutí všech dolů a jsou uvedeny průměrné hodnoty. Pro lepší znázornění jsem hodnoty výhřevností, emisních faktorů a uhlíků pro jednotlivá uhlí zadala do grafu 1.

Tabulka 15: Průměrné výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory jednotlivých uhlí

Koksovatelné uhlí	Q _r ^r (NCV)	C ^r	CEF	CO ₂ EF
	[MJ/kg]	[% hm.]	[t C/TJ]	[t CO ₂ /TJ]
Szczygłowiec	29,83	75,50	25,31	92,81
Knurów	29,81	75,28	25,26	92,61
Borynia	28,26	72,45	25,64	94,00
Budryk	29,66	74,91	25,26	92,62
Paskov	28,86	74,04	25,66	94,09
Darkov	29,86	76,13	25,49	93,48
ČSM	30,58	77,62	25,38	93,07
ČSA	30,51	77,57	25,43	93,23



Graf 1: Porovnání hodnot jednotlivých uhlí s hodnotami IPCC

Z grafu 1 je patrné, že uhlí s větší výhřevností má i vyšší hodnotu uhlíku. Nejvyšší emisní faktor mají uhlí Borynia a Paskov, u kterých je nejnižší výhřevnost a uhlík. Z osmi uhlí má pět nižší CO₂EF než udává IPCC.

4.4.2 Výsledky analýz stanovené u energetického uhlí

Pro ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. jsem prováděla analýzy energetického uhlí z dolů Darkov a Lazy a z polského dolu Bielszowice. V následujících tabulkách 16–19 jsou uvedeny hodnoty jednotlivých energetických uhlí.

Tabulka 16: Darkov - výhřevnosti, uhliky a emisní faktory

Darkov					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
9,0	24,82	69,87	63,55	25,61	93,89
8,9	24,49	69,65	63,43	25,90	94,97
5,5	25,66	69,65	65,81	25,65	94,03
8,9	23,60	67,21	61,24	25,95	95,15
7,5	25,76	69,81	64,55	25,06	91,87
5,5	26,61	71,44	67,55	25,38	93,07
4,1	27,54	72,57	69,59	25,27	92,66
7,8	25,50	70,85	65,31	25,61	93,91
9,0	25,37	71,02	64,64	25,48	93,43
8,8	24,87	70,74	64,49	25,93	95,09
7,5	24,03	66,78	61,75	25,70	94,22
6,2	25,55	69,04	64,78	25,35	92,97
Ø	25,32	-	64,72	25,57	93,74

Tabulka 17: Lazy proplástek - výhřevnosti, uhliky a emisní faktory

Lazy proplástek					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
11,2	21,35	62,17	55,19	25,85	94,79
4,7	20,74	55,35	52,77	25,44	93,28
7,5	19,65	54,68	50,57	25,73	94,36
7,0	18,10	51,48	47,87	26,45	96,97
Ø	19,96	-	51,60	25,85	94,79

Tabulka 18: Lazy - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Lazy					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO₂EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
6,0	24,66	67,79	63,72	25,84	94,74
8,7	24,22	68,54	62,59	25,84	94,76
5,8	25,97	70,94	66,82	25,73	94,34
5,6	24,95	67,94	64,14	25,71	94,26
8,6	23,42	66,16	60,49	25,83	94,70
7,2	24,78	67,48	62,66	25,28	92,71
9,6	24,52	69,55	62,85	25,63	93,98
4,7	27,03	73,22	69,78	25,82	94,66
9,4	22,60	64,30	58,23	25,77	94,47
6,8	26,52	73,72	68,68	25,90	94,96
6,1	25,35	68,98	64,81	25,56	93,74
5,4	26,81	72,42	68,53	25,56	93,73
Ø	25,07	-	64,44	25,71	94,25

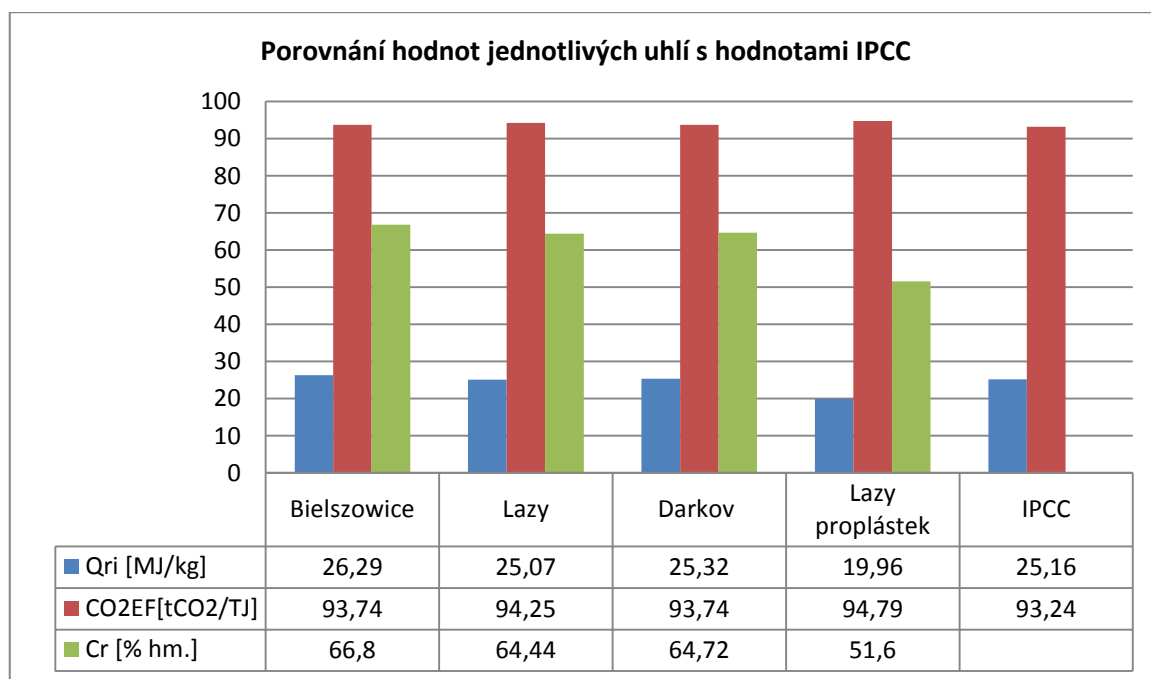
Tabulka 19: Bielszowice - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Bielszowice					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO₂EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
7,3	26,71	72,57	67,29	25,19	92,38
7,1	27,43	74,88	69,56	25,36	92,98
10,0	25,28	71,91	64,74	25,61	93,90
11,6	24,66	71,30	63,03	25,56	93,72
9,1	26,01	72,90	66,30	25,49	93,46
8,0	27,56	75,47	69,47	25,21	92,43
9,8	26,36	74,49	67,21	25,50	93,49
Ø	26,29	-	66,80	25,41	93,18

V tabulce 20 jsou jednotlivé doly a jejich průměrné hodnoty výhřevnosti, uhlíku a emisního faktoru. Pro lepší přehled jsem opět hodnoty výhřevnosti, emisního faktoru a uhlíku pro jednotlivá uhlí zadala do grafu 2.

Tabulka 20: Průměrné výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory jednotlivých uhlí

Energetické uhlí	Q _i (NCV)	C ^r	CEF	CO ₂ EF
	[MJ/kg]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
Bielszowice	26,29	66,80	25,41	93,74
Lazy	25,07	64,44	25,71	94,25
Darkov	25,32	64,72	25,57	93,74
Lazy proplástek	19,96	51,60	25,85	94,79



Graf 2: Porovnání hodnot jednotlivých uhlí s hodnotami IPCC

Z grafu 2 je opět patrné, že uhlí s nejnižší výhřevností a uhlíkem má nejvyšší emisní faktor CO₂. Jsou to Lazy proplástek a důl Darkov. Všechny čtyři druhy uhlí mají vyšší hodnotu CO₂EF než uvádí IPCC.

4.4.3 Výsledky analýz stanovené u koksu

Pro závod Koksovna se provádí rozbor hlavního produktu – koksu. V tabulkách 21–24 jsou uvedeny jednotlivé druhy koksu a jejich hodnoty pro výpočet emisního faktoru CO₂, veškerá voda, výhřevnost, bezvodý uhlík, uhlík v původním stavu, uhlíkový emisní faktor a emisní faktor CO₂.

Tabulka 21: Vysokopecní koks - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Vysokopecní koks					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
4,8	28,69	89,17	84,85	29,58	108,45
4,9	28,57	89,05	84,68	29,64	108,68
4,9	28,77	90,09	85,65	29,77	109,16
5,0	28,87	90,31	85,79	29,71	108,95
5,1	28,96	89,75	85,15	29,40	107,80
4,9	28,80	89,74	85,38	29,65	108,70
5,0	28,70	89,94	85,47	29,78	109,20
Ø	28,77	-	85,28	29,65	108,70

Tabulka 22: Ořech - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Ořech					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
10,0	26,87	89,51	80,52	29,97	109,88
10,7	26,73	89,59	79,99	29,93	109,73
10,9	26,73	89,82	80,01	29,93	109,76
10,8	26,88	90,22	80,49	29,94	109,79
11,1	26,79	90,11	80,14	29,92	109,69
10,4	26,89	89,71	80,40	29,90	109,63
9,9	27,12	89,84	80,93	29,84	109,42
Ø	26,86	-	80,35	29,92	109,70

Tabulka 23: Hrášek - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

Hrášek					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
13,1	25,73	88,64	77,02	29,93	109,76
13,2	25,92	89,08	77,31	29,83	109,37
13,0	26,21	90,09	78,34	29,89	109,60
13,7	25,92	89,92	77,65	29,96	109,84
13,9	25,86	89,00	76,66	29,64	108,69
12,9	26,22	89,64	78,07	29,77	109,17
12,5	26,26	89,31	78,13	29,75	109,09
Ø	26,02	-	77,60	29,82	109,36

Tabulka 24: Prach - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory

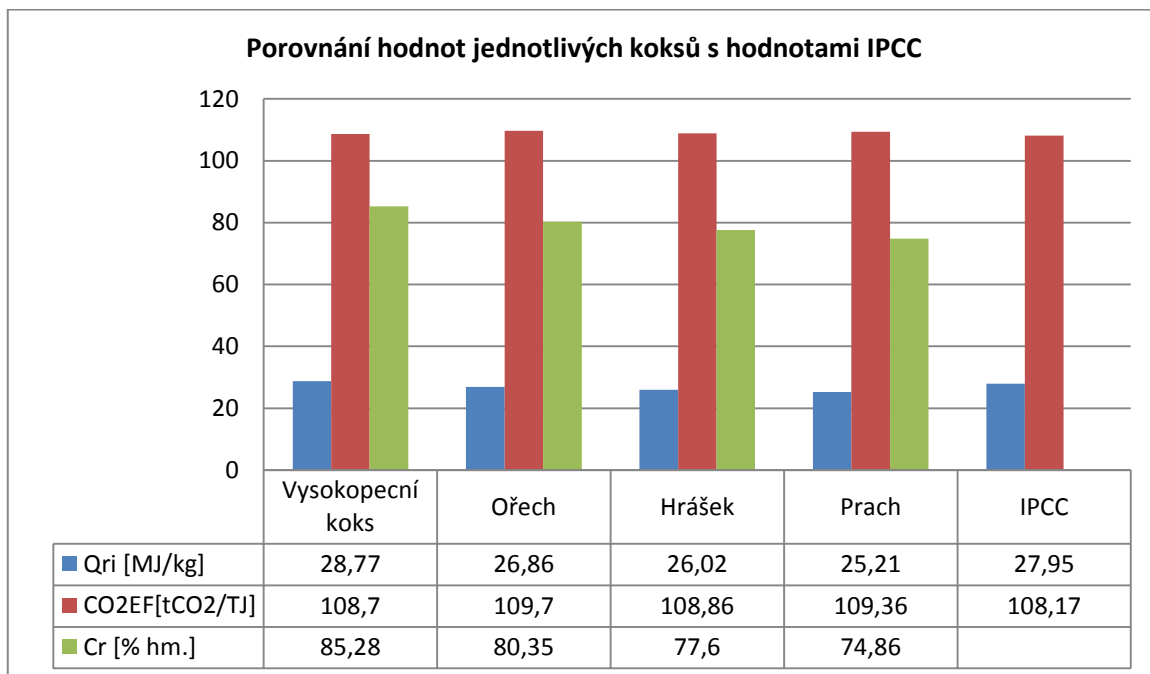
Prach					
W_t^r	Q_i^r (NCV)	C^d	C^r	CEF	CO ₂ EF
[% hm.]	[MJ/kg]	[% hm.]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
14,2	24,88	86,06	73,86	29,69	108,85
14,1	25,26	86,64	74,39	29,45	107,98
14,1	24,72	86,01	73,93	29,91	109,65
14,4	25,03	86,98	74,44	29,74	109,04
14,9	25,21	87,9	74,81	29,68	108,81
13,5	25,72	88,48	76,54	29,76	109,12
13,2	25,68	87,56	76,04	29,61	108,57
Ø	25,21	-	74,86	29,69	108,86

V tabulce 25 lze najít průměrné hodnoty výhřevnosti, uhlíku a emisního faktoru pro jednotlivé druhy koksu.

Tabulka 25: Průměrné výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory jednotlivých koksů

Koks	Q_i^r (NCV)	C^r	CEF	CO ₂ EF
	[MJ/kg]	[% hm.]	[tC/TJ]	[tCO ₂ /TJ]
Vysokopecní koks	28,77	85,28	29,65	108,70
Ořech	26,86	80,35	29,92	109,70
Hrášek	26,02	77,60	29,69	108,86
Prach	25,21	74,86	29,82	109,36

Názorný přehled závislostí mezi výhřevnostmi, uhlíky a emisními faktory CO₂ u jednotlivých druhů koksu je v grafu 3.



Graf 3: Porovnání hodnot jednotlivých koksů s hodnotami IPCC

Všechny koksy mají vyšší hodnoty emisního faktoru, než udává IPCC, nejvyšší hodnoty má Ořech a Prach.

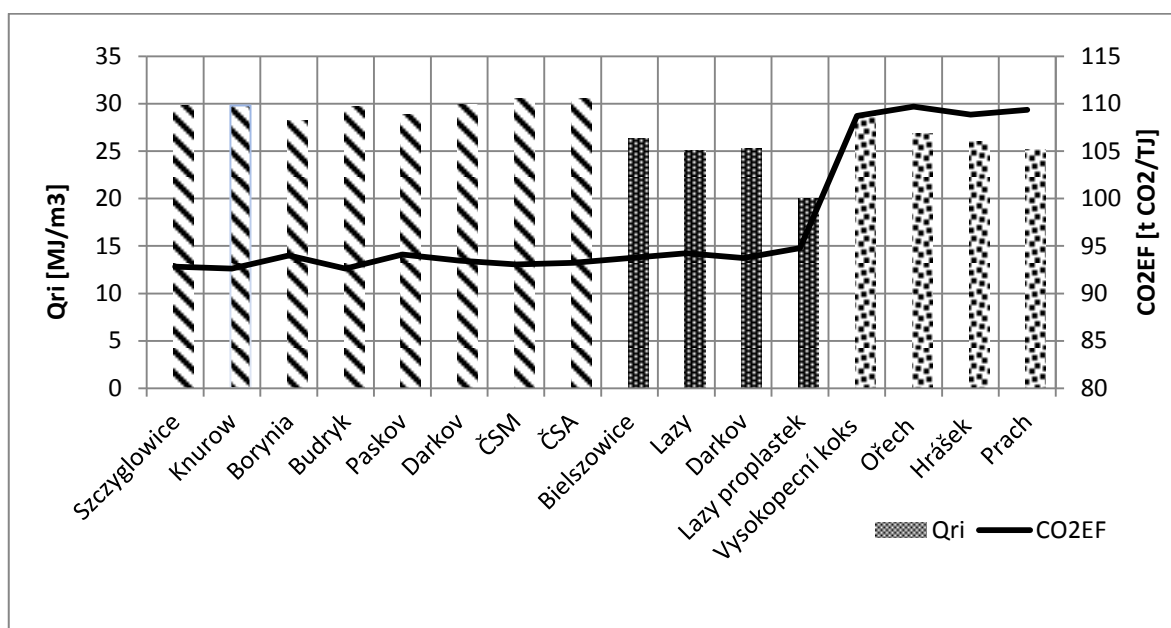
4.4.4 Porovnání uvedených typů tuhých paliv

V tabulce 26 jsou zahrnuty všechny druhy analyzovaných tuhých paliv, které jsou následně znázorněny v grafech.

Tabulka 26: Souhrn všech tuhých paliv

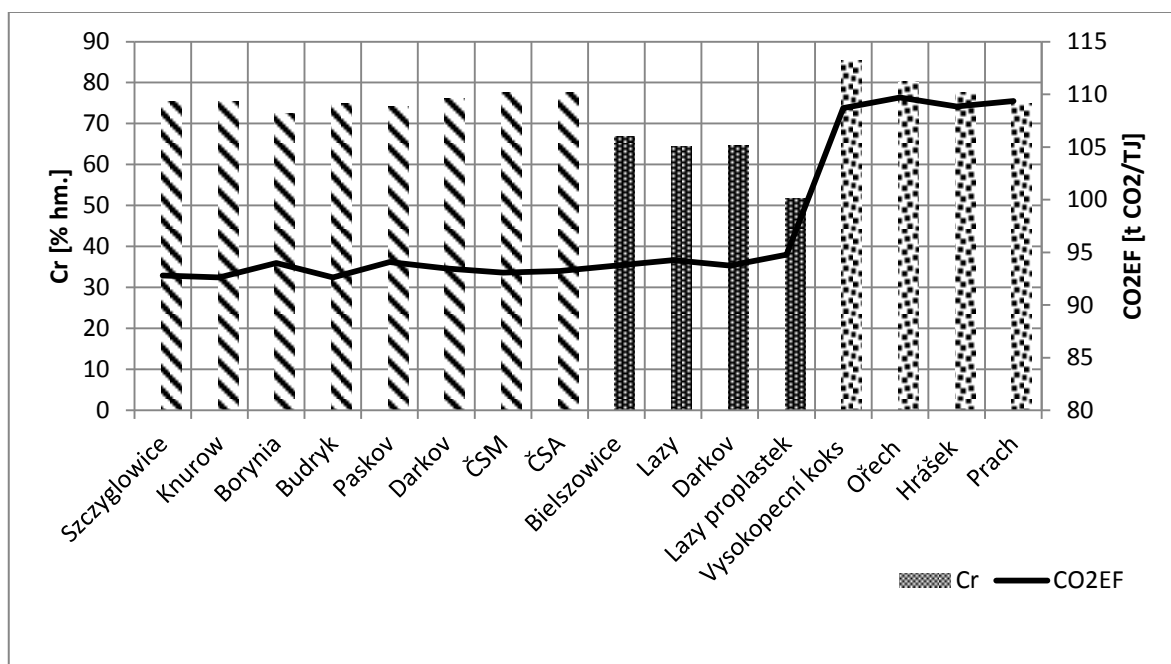
Druh tuhého paliva	Název paliva	Q _i ^r (NCV)	C ^r	CEF	CO ₂ EF
		[MJ/kg]	[% hm.]	[t C/TJ]	[t CO ₂ /TJ]
Koksovatelné uhlí	Szczygłowice	29,83	75,50	25,31	92,81
	Knurow	29,81	75,28	25,26	92,61
	Borynia	28,26	72,45	25,64	94,00
	Budryk	29,66	74,91	25,26	92,62
	Paskov	28,86	74,04	25,66	94,09
	Darkov	29,86	76,13	25,49	93,48
	ČSM	30,58	77,62	25,38	93,07
	ČSA	30,51	77,57	25,43	93,23
Energetické uhlí	Bielszowice	26,29	66,80	25,41	93,74
	Lazy	25,07	64,44	25,71	94,25
	Darkov	25,32	64,72	25,57	93,74
	Lazy proplástek	19,96	51,60	25,85	94,79
Koks	Vysokopecní koks	28,77	85,28	29,65	108,70
	Ořech	26,86	80,35	29,92	109,70
	Hrášek	26,02	77,60	29,69	108,86
	Prach	25,21	74,86	29,82	109,36

Graf 4 představuje závislosti na výhřevnostech tuhých paliv a jejich emisních faktorech CO₂. Jedná-li se o koksovatelné uhlí, u kterého se výhřevnosti pohybují kolem 30 MJ/kg, nebo energetické uhlí s výhřevnostmi od 20 do 26 MJ/kg, jsou emisní faktory velmi podobné. IPCC uvádí hodnoty emisních faktorů pro oba druhy uhlí stejné. To však už neplatí pro koks, kde jsou emisní faktory přibližně o 10 t CO₂/TJ vyšší, přestože má podobnou výhřevnost jako oba typy uhlí.



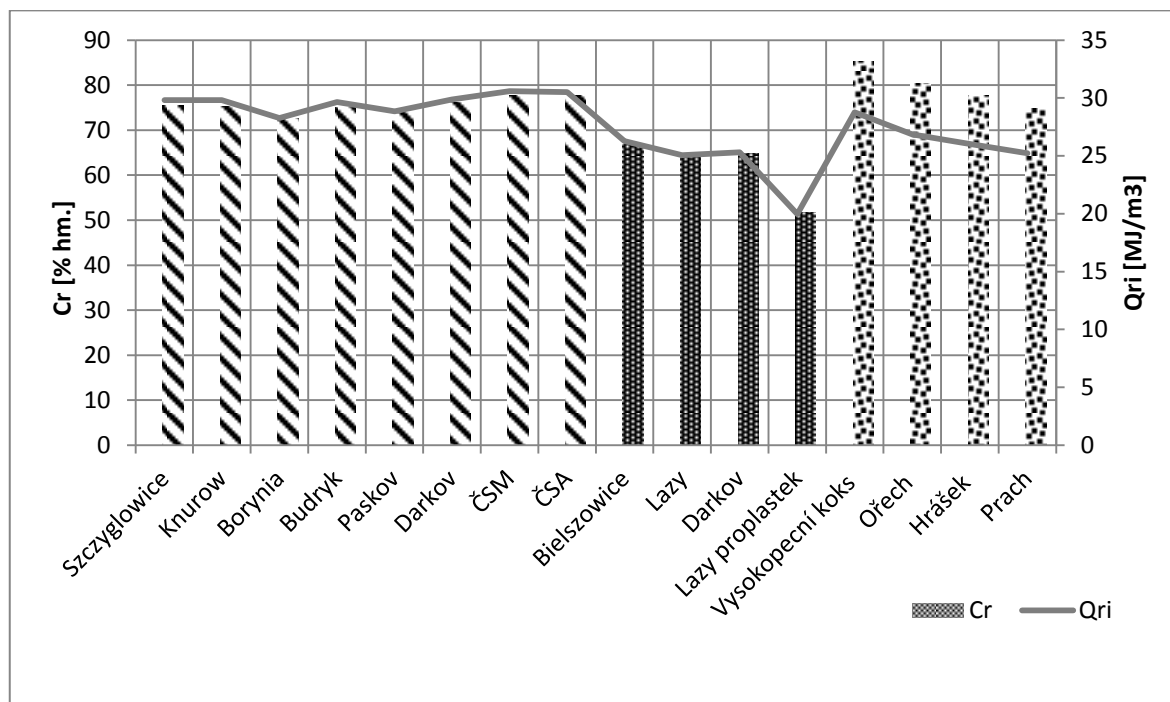
Graf 4: Výhřevnosti tuhých paliv a emisní faktory

Z grafu 5 je vidět, že u koksů je vyšší emisní faktor a uhlík. Koksovatelné i energetické uhlí mají emisní faktor CO₂ téměř shodný.



Graf 5: Obsah uhlíku tuhých paliv a emisní faktory

Z grafu 6 je patrné, že u koksovatelného i energetického uhlí je úměra mezi obsahem uhlíku a výhřevností přibližně stejná, kdežto u koksu je obsah uhlíku, oproti uhlí se stejnou výhřevností, vyšší. Což je důvod, proč jsou emisní faktory koksu vyšší. Čím je uhlík v poměru k výhřevnosti vyšší, je vyšší i CO₂EF.



Graf 6: Obsah uhlíku tuhých paliv a výhřevnosti

4.5 Emisní faktory CO₂ pro jednotlivé typy plyných paliv

V laboratořích se provádí denně rozbor koksárenského plynu, který je vedlejším produktem při výrobě koksu. V tabulce 27 jsou uvedeny průměrné hodnoty koksárenského plynu za rok 2013. Pro srovnání jsem ještě přidala hodnoty dalších plynů, např. vysokopecního plynu, který je vedlejším produktem při výrobě surového železa ve vysokých pecích, směsných plynů a degazačního plynu z dolu Paskov.

Tabulka 27: Příklady složení plynu

Složka plynu	Jednotka	1	2	3	4	5	6
		Koks. plyn	VP plyn, K10	SP, záv 14	SP, AMTPO	SP, otop KB	Degaz. plyn
H ₂	[% v/v]	56,49	2,61	20,2	43,0	5,20	
O ₂	[% v/v]	0,64	0,17	0,29	0,29	0,94	2,7
N ₂	[% v/v]	8,41	54,2	39,3	19,4	53,1	36,5
CO	[% v/v]	5,76	23,7	18,4	10,7	21,5	
CO ₂	[% v/v]	2,06	19,4	13,5	7,4	17,8	5,18
CH ₄	[% v/v]	23,49	0,02	7,46	17,0	1,28	55,3
C ₂ H ₆	[% v/v]	0,37		0,18	0,45	0,04	0,30
C ₂ H ₄	[% v/v]	2,02		0,58	1,32	0,10	
C ₂ H ₂	[% v/v]	0,065		0,02	0,06		
C ₃ H ₈	[% v/v]	0,032		0,01	0,05		0,03
C ₃ H ₆	[% v/v]	0,102		0,03		0,01	
C ₄ H ₁₀	[% v/v]	0,032		0,01	0,03	0,01	
C ₅ H ₁₂	[% v/v]	0,013			0,01		
C ₆ H ₆	[% v/v]	0,19		0,04	0,28	0,01	
C _n H _m	[% v/v]	2,82		0,87	2,20	0,17	0,33
Q _{i(real)}	[MJ/m ³]	17,41	3,28	7,77	13,77	4,02	20,07
ρ _(real)	[kg/m ³]	0,493	1,350	1,075	0,724	0,724	0,998
X _C	[kg C/m ³ plynu]	0,205	0,231	0,222	0,220	0,220	0,328
CEF	[t C/TJ]	11,75	70,57	28,56	15,96	54,84	16,36
CO ₂ EF	[t CO ₂ /TJ]	43,07	258,8	104,7	58,5	201,1	60,0

1 Koksárenský plyn, denní hodnoty průměrných denních vzorků, průměr za rok 2013;

2 Vysokopecní plyn pro kotel K10, průměr z měření 6 - 10/2012;

3 Směsný plyn, závod 14, středojemná válcovna, příklad složení plynu;

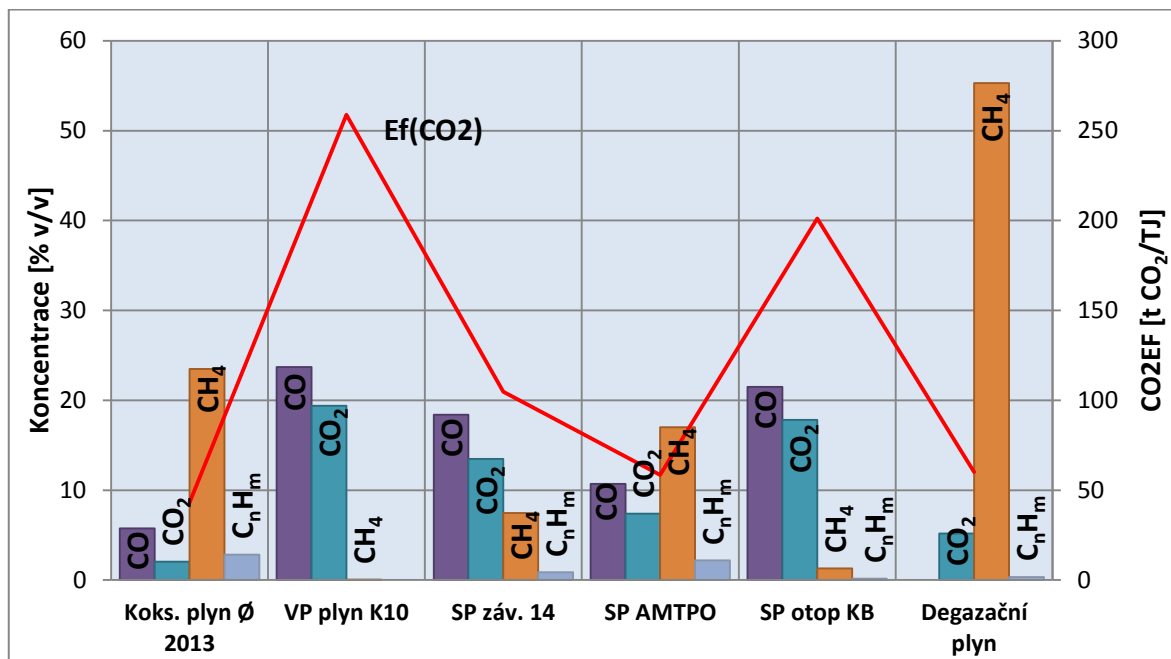
4 Směsný plyn, AMTPO (rourovna), příklad složení plynu;

5 Směsný plyn, otop koksárenských baterií KB1, KB2;

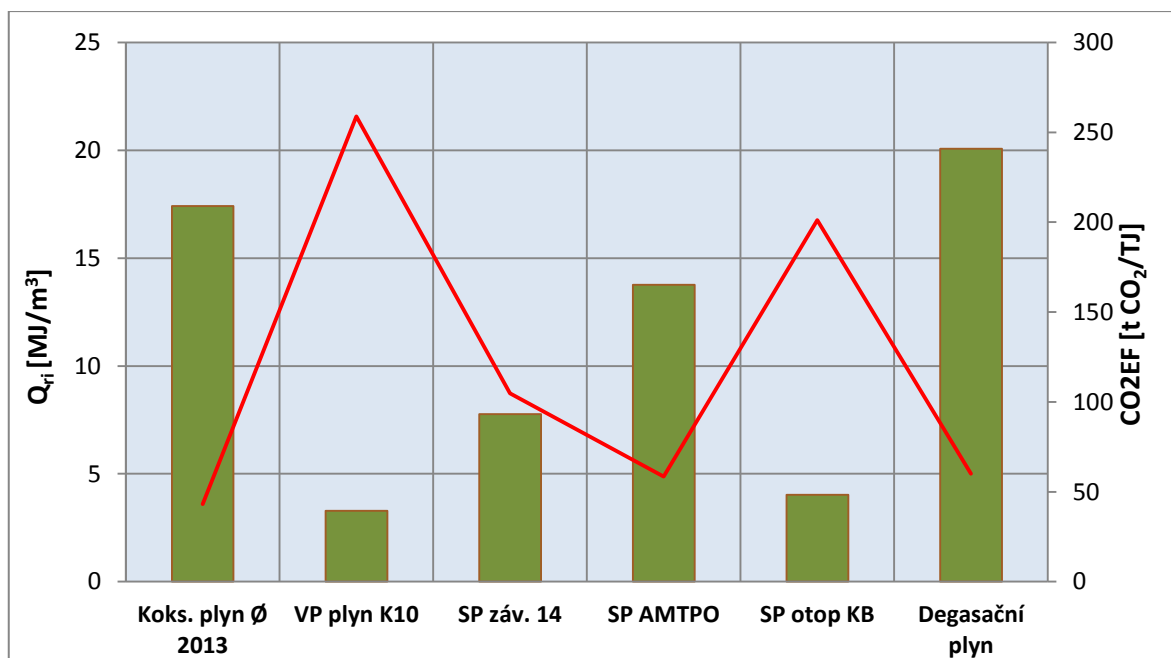
6 Příklad složení degazačního plynu - Paskov, 2008;

C_nH_m suma uhlovodíků C₂ – C₆.

V grafu 7 jsou znázorněny koncentrace CO, CO₂, CH₄ a C_nH_m (suma uhlovodíků) různých druhů plynů. S rostoucí koncentrací CO a CO₂ roste i CO₂EF. Není vidět souvislost s obsahem CH₄.



Graf 7: Koncentrace některých složek plynů a jejich emisní faktory.



Graf 8: Výhřevnosti plynů a jejich emisní faktory

Graf 8 znázorňuje závislost mezi výhřevností a emisním faktorem CO₂. Plyny s nízkou výhřevností mají naopak vysoký emisní faktor. Koksárenský plyn vyráběný v AMO má emisní faktor CO₂ o 4,60 t CO₂/TJ nižší než je uvedená hodnota IPCC.

4.6 Diskuze

Z výsledků paliv jsem zjistila, že koks má podstatně vyšší obsah uhlíku při stejné výhřevnosti než uhlí a proto je charakterizováno vyšším emisním faktorem CO₂. V případě uhlí s nejnižší výhřevností a nejnižším obsahem uhlíku (energetické uhlí Lazy proplástek – $Q_i^r = 19,96$ MJ/kg, $C^r = 51,60\%$) by se dalo předpokládat, že bude mít i nejnižší emisní faktor. Přitom jeho CO₂EF byl ze všech sledovaných uhlí nejvyšší – 94,79 t CO₂/TJ, protože jeho obsah uhlíku byl nejvyšší v poměru k výhřevnosti.

Přestože ze zjištěných dat vyplývá, že při spalování koksu se uvolňuje více CO₂ než při spalování uhlí, nelze jednoznačně říct, že je lepší používat uhlí. Dle mého názoru, může být při spalovacích procesech menší spotřeba koksu než uhlí a tím se tedy v konečném důsledku uvolní méně CO₂ do ovzduší než při použití uhlí.

Emisní faktory CO₂ byly u všech druhů koksu vyšší, než udává IPCC, v průměru o 1 t CO₂/TJ. Koks, jak je známo, má nejvyšší obsah uhlíku. Používá se ve vysokých pecích při výrobě železa, kde je důležitým zdrojem čistého uhlíku.

Stejnou závislost mezi výhřevností a obsahem uhlíku jsem pozorovala také u plyných paliv. Plyny s nejvyšší výhřevností měly nejnižší emisní faktory a zároveň i nejnižší poměr obsahu uhlíku k výhřevnosti.

Koksárenský plyn, který vyrábí ArcelorMittal Ostrava, má výhřevnost 17,41 MJ/m³, IPCC udává 15,62 MJ/m³, takže se jedná o kvalitní plyn s vysokou výhřevností. I jeho emisní faktor CO₂, je o 4,60 t CO₂/TJ nižší než jsou hodnoty IPCC. V tomto případě je lepší používat emisní faktory stanovené analýzou a ne standardní hodnoty uváděné v české inventuře skleníkových plynů.

V roce 2012 vyprodukovala společnost ArcelorMittal Ostrava a.s. 2 738 057 tun emisí CO₂ za rok, ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. 2 311 247 tun emisí CO₂ za rok. Dohromady je to 5 049 304 tun emisí CO₂ za rok. V roce 2004, kdy se huť jmenovala Mittal Steel Ostrava a.s., bylo vyprodukováno celkem 6 185 000 tun emisí CO₂ za rok. To bylo o 1 135 696 tun emisí CO₂ za rok více než v roce 2012. Hodnoty jsem použila z Integrovaného registru znečišťování (IRZ), který slouží jako veřejně přístupný informační systém emisí a přenosů znečišťujících látek.

Společnost ArcelorMittal Ostrava a.s. investovala do ekologie od roku 2003 do roku 2012 částku 4 miliardy korun. Většina provozů se již dnes pohybuje pod limity, které určují nejlepší dostupné techniky a které budou platné v Evropské unii od roku 2016.

5 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo studium způsobu vypočítávání emisních faktorů CO₂, zhodnocení vlivu kvality paliv na hodnotu jejich emisních faktorů, a sledování závislosti mezi výhřevností, uhlíkem a emisním faktorem.

V první kapitole jsem se zabývala dopadem oxidu uhličitého na životní prostředí nebo na existenci života na naší planetě vůbec, a jaké kroky jsou podnikány k jeho snížení. Jde především o zavedení systému obchodování s emisemi skleníkových plynů. Dále jsem se seznámila s legislativou týkající se ochrany ovzduší.

V další části byl vysvětlen emisní faktor CO₂ a způsob jeho výpočtu. V kapitole jsou uvedeny výpočty k tuhým a plyným palivům a byla přiložena tabulka s emisními faktory zveřejněna Ministerstvem životního prostředí pro vykazování emisí za rok 2013.

V následující kapitole jsem specifikovala paliva, výsledky jejich rozborů byly použity pro výpočet EF. Byly uvedeny typy analýz, na jejichž základě byly získány potřebné údaje k výpočtům emisních faktorů. Blíže jsem popsala přístroje, na kterých se vzorky uhlí, koksu nebo plynu analyzují a které používáme v naší laboratoři.

Ze shromážděných dat jsem prováděla výpočty a paliva mezi sebou porovnávala. Zjistila jsem, že čím je vyšší obsah uhlíku v poměru k výhřevnosti, je vyšší i emisní faktor. Některé druhy uhlí měly nižší hodnoty emisního faktoru než hodnoty uváděné v české inventuře skleníkových plynů, některé naopak hodnoty vyšší. Emisní faktory používané jako standardní hodnoty v národních inventurách uvádějí průměrné hodnoty pro běžně používané uhlí. Jsou tedy vhodné k výpočtu emisí pro uhlí používané v České republice.

Pro koksárenský plyn vyráběný ve společnosti ArcelorMittal Ostrava a. s. je vhodnější používat emisní faktor stanovený analýzou, protože vychází podstatně nižší než standardní hodnota udávána IPCC.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. MOLDAN, Bedřich. *Podmaněná planeta*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1580-6.
2. STOJANOVIĆ, Dušica, Svetlana PEJOVIĆ a Zoran MILOŠEVIĆ. Greenhouse gases and means of prevention. *Acta Medica Medianae*. 2013, 52(3). DOI: 10.5633.
3. Carbon cycle. *Grid Arendal* [online]. 2012 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: http://www.grida.no/graphicslib/detail/carbon-cycle_9d44#
4. Skleníkový efekt. *Meteocentrum* [online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/zmeny-klimatu/sklenikovy-efekt-koncentrace-co2.php>
5. CO₂ concentration in the atmosphere (1959-1998). *GRID Arendal* [online]. 2012 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: http://www.grida.no/graphicslib/detail/co2-concentration-in-the-atmosphere-1959-1998_a9e4
6. AICHELE, R a G FELBERMAYR. The Effect of the Kyoto Protocol on Carbon Emissions. *JOURNAL OF POLICY ANALYSIS AND MANAGEMENT*. 2013, roč. 32, č. 4, s. 731-770.
7. BEHRINGER, Wolfgang. *Kulturní dějiny klimatu: Od doby ledové po globální oteplování*. Praha: Paseka, 2010. ISBN 978-80-7432-022-4.
8. LOVELOCK, James. *Mizející tvář Gaii: Poslední varování*. Praha: Academia, 2012. ISBN 978-80-200-2118-2.
9. Greenhouse effect. *Australian Government: Department of the enviroment* [online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.climatechange.gov.au/greenhouse-effect>
10. Kyoto Protocol. *United Nations: Framework convention for climate chase*[online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/3145.php
11. GORE, Al. *Nepříjemná pravda: naše planeta v ohrožení - globální oteplování a co s ním můžeme udělat*. 1. vyd. Překlad Jitka Fialová. Praha: Argo, 325 s. ISBN 978-807-2038-688.
12. KLAUS, Václav. *Modrá, nikoli zelená planeta: co je ohroženo: klima, nebo svoboda?*. 2., rozš. vyd. Praha: Dokořán, 2009. ISBN 978-807-3632-434.

13. IPCC: O změně klimatu víme stále více: Infolist: Mezivládní panel o změně klimatu a Pátá hodnotící zpráva (2013). *Změna klimatu.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
<http://www.zmenaklimatu.cz/images/infolist%20IPCC%20web%20FINAL.pdf>
14. FOTT, Pavel, František KOLÁŘ a Dušan VÁCHA. Determination of emission and oxidation factors in monitoring CO₂ emissions for emission trading scheme. *Acta geodynamica et geomaterialia* [online]. 2006, No. 4, s. 5-11 [cit. 2014-03-25].
Dostupné z: http://www.irms.cas.cz/index.php?page=acta_content&id=30
15. Legislativa a metodické pokyny. *Ministerstvo životního prostředí: Ochrana ovzduší* [online]. 2013 [cit. 2014-02-23]. Dostupné z:
http://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_ovzdusi
16. Emisní obchodování. *Ministerstvo životního prostředí: Ochrana klimatu* [online]. 2013 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/emisni_obchodovani
17. Metodické pokyny k monitorování a vykazování emisí ve stacionárních zařízeních: Pokyny č. 1 k nařízení o monitorování a vykazování emisí skleníkových. *Ministerstvo životního prostředí: Ochrana klimatu* [online]. 2012 [cit. 2014-04-15].
Dostupné z:
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/monitorovani_vykazovani_emisi_stacionarni_zarizeni/\\$FILE/oeok-metodicky_%20pokyn_1_20130101.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/monitorovani_vykazovani_emisi_stacionarni_zarizeni/$FILE/oeok-metodicky_%20pokyn_1_20130101.pdf)
18. Emise látek znečišťující ovzduší v České republice. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2009 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/groc/gr09cz/kap11.html>
19. Zdroje znečišťování ovzduší. *Čisté Klimkovice* [online]. 2011 [cit. 2014-04-15].
Dostupné z: <http://www.ciste-klimkovice.cz/znecisteni-ovzdusi/zdroje-znecistovani-ovzdusi/>
20. Metodické pokyny k monitorování a vykazování emisí ve stacionárních zařízeních. *Ministerstvo životního prostředí: Ochrana klimatu* [online]. 2013 [cit. 2014-04-15].
Dostupné z: http://mzp.cz/cz/monitorovani_vykazovani_emisi_stacionarni_zarizeni
21. KOLÁŘ, František, Pavel FOTT a Jaroslava SVÍTILOVÁ. EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE OF GASEOUS FUELS. *Acta Geodynamica et Geomaterialia* [online]. 2004, No. 2, s. 279-287 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
http://www.irms.cas.cz/index.php?page=acta_content&id=42

22. Emisní obchodování: Výpočtové faktory pro výkazy emisí za rok 2013.
Ministerstvo životního prostředí [online]. 2013 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vypoctove_faktory_emise_2013/\\$FILE/oeok-NIR_vypocetni_faktory-20130101.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/vypoctove_faktory_emise_2013/$FILE/oeok-NIR_vypocetni_faktory-20130101.pdf)
23. *Plán opatření pro případy havárie: Závod 10 - Koksovna*. 7. vyd. Ostrava, 2013.
24. *Závod 10 - Koksovna. ArcelorMittal Ostrava a.s.: Závody* [online]. 2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.arcelormittal.cz/o-spolecnosti/zavody.aspx>
25. *ArcelorMittal Energy Ostrava s.r.o. ArcelorMittal Ostrava a.s.: Závody* [online]. 2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://ostrava.arcelormittal.com/o-spolecnosti/arcelormittal-energy-ostrava.aspx>
26. Jak funguje uhelná elektrárna: Proces výroby v uhelných elektrárnách. *Skupina ČEZ: Výroba elektřiny* [online]. 2013 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z:
<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/uhelne-elektřiny/flash-model-jak-funguje-uhelna-elektřarna.html>
27. ČSN ISO 1928. *Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti*. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2010.
28. *Kalorimetrický systém IKA C 5000 control: Návod k obsluze*. Praha, 1999.
29. C 5000 control package 1/12. *NEOTEC: IKA - Laboratorní technika* [online]. 2013 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.neotec.cz/ika/katalog.php?kapitol=calo>
30. ČSN ISO 29541. *Tuhá paliva – Stanovení obsahu veškerého uhlíku, vodíku a dusíku – Instrumentální metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
31. *TruSpec CHN (analyzátor uhlíku, vodíku a dusíku)*. Plzeň, 2004.
32. *TruSpecMicro. LECO Instrumente Plzeň: Analytika, Elementární analýza* [online]. 2012 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://cz.leco-europe.com/product/truspec-micro/>
33. ČSN EN ISO 6976. *Zemní plyn - Výpočet spalného tepla, výhřevnosti, hustoty, relativní hustoty a Wobbeho čísla*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
34. *Hutní a chemické laboratoře: Stanovení složení topných plynů metodou plynové chromatografie*. Ostrava, 2009.
35. *Operační manuál: Plynový chromatograf HP 6890*. Německo, 2000.

36. Gas Chromatography: Agilent/HP GC Systems. *GenTech: GenTech Scientific Analytical Instrument Sales, Service, Parts and Training* [online]. 2014 [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.gentechscientific.com/agilent-hp-gc-systems/product/10025/agilent-hp-6890-gc-with-fid>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Cyklus uhlíku [3].....	3
Obrázek 2: Koncentrace CO ₂ v ovzduší [5]	4
Obrázek 3: Skleníkový efekt [9]	6
Obrázek 4: Závod 10 – Koksovna[24].	19
Obrázek 5: ArcelorMittalEnergy Ostrava s.r.o.[25]	20
Obrázek 6: Kalorimetr IKA 5000 [29].	21
Obrázek 7: TruSpec firmy LECO [32].	22
Obrázek 8: Plynový chromatograf 6890N firmy Agilent Technologies [36].	23

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Skleníkové plyny tzv. kjótského koše [1].	7
Tabulka 2: Emise CO ₂ v ČR a celosvětově od roku 1992 do roku 2009 (v tunách na osobu) [6].....	8
Tabulka 3: Zdroje znečišťování ovzduší REZZO [19].	12
Tabulka 4: Výhřevnosti, emisní faktory CO ₂ (CO ₂ EF) a oxidační faktory [22].	17
Tabulka 5: Granulometrický sortiment koksu	18
Tabulka 6: Základní komponenty plyných směsí vyráběných a používaných v AMO	24
Tabulka 7: Szczyglowice – výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	25
Tabulka 8: Knurów - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	25
Tabulka 9: Borynia -výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	26
Tabulka 10: Budryk - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	26
Tabulka 11: Paskov - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	26
Tabulka 12: Darkov - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	27
Tabulka 13: ČSM - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	27
Tabulka 14: ČSA - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	27
Tabulka 15: Průměrné výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory jednotlivých uhlí	28
Tabulka 16: Darkov - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	29
Tabulka 17: Lazy proplástek - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	29
Tabulka 18: Lazy - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	30
Tabulka 19: Bielszowice - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	30
Tabulka 20: Průměrné výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory jednotlivých uhlí	31
Tabulka 21: Vysokopeční koks - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	32
Tabulka 22: Ořech - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	32
Tabulka 23: Hrášek - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	33
Tabulka 24: Prach - výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory	33
Tabulka 25: Průměrné výhřevnosti, uhlíky a emisní faktory jednotlivých koksu	33
Tabulka 26: Souhrn všech tuhých paliv	35
Tabulka 27: Příklady složení plynu	38

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Porovnání hodnot jednotlivých uhlí s hodnotami IPCC	28
Graf 2: Porovnání hodnot jednotlivých uhlí s hodnotami IPCC	31
Graf 3: Porovnání hodnot jednotlivých koksu s hodnotami IPCC	34
Graf 4: Výhřevnosti tuhých paliv a emisní faktory	36
Graf 6: Obsah uhlíku tuhých paliv a výhřevnosti	37
Graf 7: Koncentrace některých složek plynů a jejich emisní faktory.	39
Graf 8: Výhřevnosti plynů a jejich emisní faktory	39